



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE AUTOMATIZADO
DE LÁCTEOS PARA ZONAS DE DIFÍCIL ACCESO**

Trabajo de titulación previo a la obtención
del título de Ingeniera Mecatrónica

AUTOR: MARÍA BELÉN PAZMIÑO SANMARTIN

TUTOR: ING. EDY LEONARDO AYALA CRUZ MSc. Ph.D.

CO-TUTOR: ING. ANGEL EUGENIO CARDENAS CADME MSc.

Cuenca – Ecuador

2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, María Belén Pazmiño Sanmartin con documento de identificación N° 0104794789 manifiesto que:

Soy la autora y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Ciudad, 6 de noviembre del 2024

Atentamente,



María Belén Pazmiño Sanmartin
0104794789

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Yo, María Belén Pazmiño Sanmartin con documento de identificación N° 0104794789, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy la autora del Proyecto Técnico: "Propuesta de un sistema de transporte automatizado de lácteos para zonas de difícil acceso", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 6 de noviembre del 2024

Atentamente,



María Belén Pazmiño Sanmartin

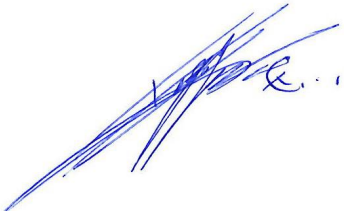
0104794789

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Edy Leonardo Ayala Cruz con documento de identificación N° 0105627277, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: PROPUESTA DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE AUTOMATIZADO DE LÁCTEOS PARA ZONAS DE DIFÍCIL ACCESO, realizado por María Belén Pazmiño Sanmartin con documento de identificación N° 0104794789, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 6 de noviembre del 2024

Atentamente,



Ing. Edy Leonardo Ayala Cruz MSc. Ph.D.

0105627277

Dedicatoria

María Belén

El presente proyecto de titulación está dedicado:

A dios quien me ha sido mi guía y fortaleza para cada reto que me ha puesto la vida.
A mi hija Victoria quien ha sido mi mayor motivación para seguir adelante y superar cada obstáculo que se presente, por impulsarme para convertirme en su mejor ejemplo.
A mi familia en especial a mi Tío Raúl, mi madre Sandra y mi esposo David, por su esfuerzo y apoyo incondicional.
A mi padre Lenin por sus consejos a lo largo de mi vida universitaria.
A mis hermanas Carolina y Janella, por su cariño y amor incondicional que son parte fundamental en mi vida.

Agradecimientos

María Belén

Agradezco a Dios por darme la sabiduría para cumplir con esta meta que he anhelado desde el inicio de esta etapa.

Agradezco a mi familia, a mi madre quien me ha enseñado que ningún obstáculo es suficiente para apagar nuestros sueños, que con su cariño y dedicación ha sido un ejemplo no solo de la profesional sino de la calidad de ser humano que debo ser.

A mi Tio Raul quien me apoyo siempre sin pensarlo.

A mi esposo David y mi hija Victoria, que con su apoyo, compañía y amor me han impulsado a cumplir mis metas.

A mi padre Lenin, por demostrarme que debo seguir superándome día a día.

A mis hermanas Carolina y Janella que con su cariño y palabras de aliento me han apoyado, han sido parte fundamental de todo este camino que el día de hoy culmina.

También quiero agradecer al Ing. Edy Ayala y al Ing. Eugenio Cárdenas, quienes ha estado presto para solventar cualquier duda presentada y brindar sugerencias.

También quiero agradecer al Ing. Edy Ayala, quien ha estado presto para solventar cualquier duda presentada y brindar sugerencias y al Ing. Angel Cardenas por sus aportes en el desarrollo del trabajo.

Resumen

La ruta de transporte de leche en Azuay, comienza en las fincas de los agricultores y productores de leche y termina en las embotelladoras, en la actualidad se ha visto afectada por condiciones geográficas que no permiten el acceso de las cisternas que trasladan la leche a las plantas de procesamiento, dificultando el comercio de productos lácteos de pequeños y medianos productores. En este sentido en el presente trabajo e titulación, se detalla una propuesta para automatizar el proceso de transporte que permita acercar la leche a la ruta principal donde pueden llegar los vehículos cisterna que recolectan la leche, manteniendola en condiciones óptimas y garantizando la higiene según los estándares nacionales. La propuesta contempla un estudio del perfil de altura de la zona y distancias horizontales que influyeron en la cantidad de materiales requeridos, la configuración de componentes del sistema de tuberías de transporte y la instrumentación requerida para el monitoreo y control de variables, cambia en función de variaciones de este perfil, por lo que para hacerlo recomienda la sistematización y optimización de metodología de cálculo, con el objeto de hacer de la propuesta de sistema automatizado de transporte una solución a largo plazo para mitigar efectos de los factores geográficos que dificultan el transporte y comercio de productos lácteos.

Palabras clave: Ruta, Transporte, cisternas, condiciones óptimas, higiene, sistema de tuberías e instrumentación.

Abstract

The milk transportation route in Azuay begins on the farms of farmers and milk producers and ends at the bottling plants. Currently, it has been affected by geographical conditions that do not allow access for the tankers that transport the milk to the processing plants, making it difficult to trade dairy products from small and medium producers. In this sense, in this work and degree, a proposal is detailed to automate the transportation process that allows the milk to be brought closer to the main route where the tank vehicles that collect the milk can arrive, keeping it in optimal conditions and guaranteeing hygiene according to the national standards. The proposal contemplates a study of the height profile of the area and horizontal distances that influenced the amount of materials required, the configuration of components of the transport piping system and the instrumentation required for monitoring and control of variables, changes depending on variations of this profile, so to do so it recommends the systematization and optimization of the calculation methodology, with the aim of making the proposal for an automated transportation system a long-term solution to mitigate the effects of geographical factors that make transportation difficult and dairy products trade.

Keywords: route, transportation, tankers, optimal conditions, hygiene, pipeline and instrumentation system.

Este documento fue realizado enteramente en L^AT_EX

Índice

Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación	I
Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación a la Universidad Politécnica Salesiana	II
Certificado de dirección del trabajo de titulación	III
Dedicatoria	IV
Agradecimientos	V
Resumen	VI
Abstract	VII
1. Introducción	1
2. Problema	2
2.1. Antecedentes	2
2.2. Descripción del problema	4
2.3. Importancia y alcances	6
2.4. Delimitación	6
2.4.1. Espacial o geográfica	6
2.5. Problema General	6
2.6. Problemas Específicos	6
3. Objetivos	7
3.1. Objetivo General	7
3.2. Objetivos Específicos	7
4. Hipótesis	7
4.1. Hipótesis General	7
5. Justificación	8
6. Marco Teórico	8
6.1. Fundamentos del procesamiento de la leche cruda	8

6.1.1.	Características de la leche	9
6.2.	Proceso de producción de la leche cruda	10
6.3.	Proceso de recolección y almacenamiento de la leche	12
6.3.1.	Factores que afectan la calidad de la leche	14
6.3.2.	Centros de acopio de la leche	15
6.3.2.1.	Situación de la ganadería en el Ecuador	15
6.3.2.2.	Centros de acopio de la leche en la región de Azuay	16
6.4.	Transporte de la Leche	17
6.4.1.	Sistemas de Transporte de la Leche	18
6.5.	Sistemas de captación de leche	18
6.5.1.	Mangueras para alimentos	18
6.5.2.	Manguera no Tóxica con Refuerzo de Nylon	19
6.5.3.	Manguera no toxica con refuerzo de alambre	21
6.5.4.	Manguera atoxica o grado alimenticio	22
6.6.	Aireación de la leche	22
6.6.1.	Aire y gases la leche	22
6.6.2.	Problemáticas con aire disperso en la leche	23
6.6.3.	Eliminación del aire recogido de la leche	23
6.7.	Bombas Alimenticias	23
6.7.1.	Bombas centrífugas	25
6.7.2.	Bombas volumétricas	26
6.8.	Caudalímetros y medición de flujo	28
6.9.	Limpieza y Sanitización en la industria láctea	29
6.9.1.	Tipos de limpieza en la industria Láctea	30
6.9.2.	Definiciones implicadas en los sistemas de limpieza	30
6.9.3.	Sistema CIP	31
6.9.4.	Tipos de sistemas de limpieza CIP	34
6.9.5.	Características de un sistema CIP	36
6.9.6.	Operacionalización del CIP	38
6.9.6.1.	Tiempo de lavado de los equipos	39
6.9.6.2.	Temperatura de operación	41
6.9.6.3.	Turbulencia	41
6.9.6.4.	Titulación	42
6.9.7.	Circuitos CIP	45
6.9.8.	Programas CIP	45

7. Marco metodológico	47
7.1. Metodología de la Investigación	47
7.2. Metodología del proceso	48
7.3. Aplicación de la Técnica	50
7.3.1. Desarrollo de Problema.	50
7.3.1.1. Delimitación de parámetros.	50
7.3.1.1.1. Selección del centro de acopio.	52
7.3.1.2. Caracterización del punto de acopio.	54
7.3.1.3. Material requerido.	55
7.3.1.4. Cálculo hidráulico del sistema	56
7.3.1.5. Cálculo de pérdidas en las tuberías del sistema	60
7.3.1.6. Altura de bombeo de diseño y potencia del sistema	63
7.3.1.7. Sistema de lavado CIP	66
7.3.1.8. Disposición de los elementos y características operacionales .	68
7.3.2. Propuesta de solución	76
7.3.2.1. Normativa ISA	77
8. Resultados	91
8.1. Caracterización de factores técnicos determinantes en el diseño del sistema de transporte automatizado	91
8.2. Cálculos del sistema de bombas y tuberías	92
8.3. Sistemas de medición y control que actúan sobre bombas, válvulas y tuberías	93
9. Conclusiones	94
10. Recomendaciones	94
Referencias	98

Lista de Tablas

1.	Características de Manguera	20
2.	Presión de Trabajo	21
3.	Formulario de Selección de Bombas	24
4.	Caudalímetros y medición de Flujo, parte I	28
5.	Caudalímetros y medición de Flujo, parte II	29
6.	Instrumentos de medición y control de variables en el CIP	36
7.	Operacionalización del CIP	39
8.	Lavado de camiones Cisterna.	40
9.	Rangos de temperatura	41
10.	Concentraciones Soda Caústica y Ácido Fosfórico.	43
11.	Concentración Soda Caústica.	44
12.	Reposición de ácido fosfórico al 78%.	45
13.	Investigación de Enfoque	48
14.	Caracterización topográfica del trayecto de tubería propuesto.	55
15.	Caracterización Hidráulica del trayecto de tubería propuesto.	58
16.	Resumen de pérdidas.	62
17.	Instrumentos de medición y control de variables correspondientes al sistema de distribución con retorno.	64
18.	Caracterización del sistema de bombeo y recirculación propuesto en Yanuncay.	65
19.	Características de los sistemas de entrega marca Gemina.	75
20.	Especificaciones de dimensiones de los tanques evaluados.	76
21.	Designación de letras asociadas a la función del instrumento, según normas ISA.	78
22.	Ejemplo de identificación de un instrumento controlador de temperatura, según normas ISA.	81
23.	Instrumentos de medición y control de variables correspondientes al sistema de Transporte de Leche.	83
24.	Instrumentos de medición y control de variables correspondientes al sistema de Transporte de Leche.	84
25.	Instrumentos de medición y control de variables correspondientes al sistema de Transporte de Leche.	89
26.	Instrumentos de medición y control de variables correspondientes al sistema de Transporte de Leche y Limpieza CIP.	90

Lista de Figuras

1.	Distribución de los productores con sistema de refrigeración y almacenamiento de leche.	5
2.	Descripción del proceso de producción de la leche	12
3.	Manguera no tóxica con refuerzo de Nylon	19
4.	Eliminador de aire	23
5.	Clasificación de Bombas Alimenticias	24
6.	Bomba centrífuga	25
7.	Curvas de desempeño	26
8.	Bomba Volumétrica	27
9.	Diagrama de codificación compuesta	27
10.	Círculo Sinner	32
11.	normas NTE INEN: 1108	33
12.	Limpieza de Mangueras	34
13.	Diagrama de proceso de un sistema CIP	35
14.	De la Leche Cruda a la Leche Líquida	47
15.	Metodología del proceso y ciclo de vida	49
16.	Ubicación Relativa Pucará y Cuenca	51
17.	Ubicación del punto de entrega de leche propuesto en Pucará y su perfil de elevación	52
18.	Ubicación del punto de entrega de leche propuesto en Yanuncay y su perfil de elevación	53
19.	Ubicación del punto de entrega de leche propuesto en Yanuncay y su perfil de elevación	54
20.	Caracterización Hidráulica del trayecto de tubería propuesto.	57
21.	Tanque Reservorio de Leche 10000 Lts.	59
22.	Variación de la velocidad de descarga en función de la altura de fluido en el reservorio.	59
23.	Variación del recorrido de la presión en el sistema.	60
24.	Propuesta de diseño del sistema de distribución con retorno.	63
25.	Planteamiento del sistema CIP.	66
26.	Sistema integrado de transporte de leche y limpieza CIP.	67
27.	Bomba centrifuga de grado alimenticio marca Alfa Laval.	70

28.	Curvas características de la bomba centrífuga de grado alimenticio marca Alfa Laval.	70
29.	Válvula de bola automática marca Alfa Laval.	71
30.	Características de construcción de válvulas de bola Alfa Laval.	72
31.	Válvula de tres vías automática marca Covna Valve.	73
32.	Características de válvulas tres vías Covna Valve.	73
33.	Tanque contenedor de Leche marca Gemina.	74
34.	Símbolos empleados para designar señales, según normas ISA.	79
35.	Símbolos empleados para designar instrumentos de medición y/o control, según normas ISA.	80
36.	Símbolos empleados para designar instrumentos de medición de nivel y controladores de tiempos, según normas ISA.	81
37.	Diagrama de Tubería e Instrumentación del sistema de transporte automatizado propuesto.	82
38.	Diagrama de tubería e instrumentación, modificado para ilustrar cambios de altura de la tubería.	87
39.	Diagrama de tubería e instrumentación completo transporte automatizado y limpieza CIP.	88
40.	Cálculo de pendiente en porcentaje.	90
41.	Altímetros y GPS.	91

1. Introducción

La leche es un alimento básico para la población mundial, y su calidad es un factor fundamental tanto para la seguridad alimentaria como para su valor comercial, varias características esenciales la hacen apta para el consumo humano, correspondientes a composición nutricional, higiene y la ausencia de sustancias nocivas.

La calidad se ve afectada por una serie de factores, presentes en las condiciones de producción, manipulación y almacenamiento, por lo que para garantizarla es necesario que todos los procesos que conforman estas etapas se realicen de manera adecuada.

En Ecuador, la leche es uno de los productos básicos que consume la mayoría de la población. La Sierra se caracteriza por ser productora de leche por excelencia, pero por su topografía y condición vial, existen zonas donde no puede llegar el camión recolector, factor que merma la calidad del proceso productivo de la leche. Desde este punto de partida, para solucionar este problema, se plantea el diseño de redes de tuberías que permitan la recolección de leche desde estas zonas a una mayor velocidad. El diseño de estas redes debe considerar diversos factores, como la capacidad de los camiones, el caudal de leche que debe transportarse y el tiempo de transporte. Además, es importante seleccionar los materiales adecuados para las tuberías, teniendo en cuenta las características de la leche y las condiciones ambientales con el fin de optimizar el proceso lo cual tiene beneficios tanto para los productores como para las empresas procesadoras de leche. De acuerdo a lo anteriormente planteado el trabajo se enfoca en el diseño de una propuesta para sistema automatizado de transporte de leche, desde las zonas de difícil acceso, hasta las rutas principales de los camiones cisternas, para ello el lector encontrará las siguientes secciones:

- **Problema:** en la cual se describe la situación actual, hipótesis de trabajo, preguntas que dan lugar a los objetivos y justificación.
- **Marco Teórico:** desarrollo teórico requerido para la propuesta de diseño del sistema de transporte de leche y consideraciones posoperativas del mismo.
- **Marco Metodológico:** desarrollo de las etapas de cálculo, selección de Componentes Mecánicos, de Instrumentación y eléctricos para la implementación de la propuesta.
- **Resultados, Conclusiones y Recomendaciones:** Basadas en el análisis de factibilidad de la propuesta planteada.

2. Problema

2.1. Antecedentes

La producción lechera ecuatoriana ha evolucionado notablemente en las últimas décadas y ha sido impulsado principalmente por factores como el aumento del consumo de productos lácteos, el apoyo estatal y las dinámicas territoriales marcadas por la implementación de políticas públicas desde la década de 1970. Estas políticas, enfocadas en facilitar el acceso a créditos, la importación de tecnología y la protección arancelaria, han contribuido al crecimiento del sector lácteo, beneficiando principalmente a los grandes productores. Sin embargo, con el tiempo, estas políticas también han tenido un impacto positivo en los pequeños y medianos ganaderos, quienes han podido acceder a nuevas tecnologías y mejorar sus prácticas de producción (Ruiz, 2007).

En este sentido, Zambrano et al (2017) realizaron una investigación que determinó el papel que juega la dinámica territorial en la configuración de la producción lechera del país, específicamente en la región de Azuay, cuyas características, como la disponibilidad de recursos naturales, la infraestructura, la vialidad y la organización social influyen en la forma en que se produce la leche Maillat (1995), a lo que se suma la coexistencia de dos lógicas de producción; la lógica funcional y la lógica territorial.

De manera que la lógica funcional, estudiada por Bayardo L(2020), predominante en las grandes empresas, se enfoca en la descentralización espacial, al mismo tiempo que busca relaciones de proximidad limitadas con otros actores del territorio, mientras que por otro lado, la lógica territorial se basa en la interdependencia, la cooperación y el intercambio entre los actores locales, con el objetivo de optimizar los recursos del territorio y generar desarrollo local.

La lógica funcional ha generado una situación de dependencia de los pequeños y medianos productores hacia las industrias lácteas y las grandes cadenas de distribución, debido a la falta de habilidades especializadas, dificultades para acceder a nuevas tecnologías y mercados, y limitaciones en el acceso a créditos y servicios de apoyo, por lo que la producción lechera ecuatoriana se mueve hacia un modelo más sostenible e inclusivo, que fortalece las capacidades de los pequeños y medianos productores. (Bayardo, L, 2020).

En la provincia de Azuay, la producción de leche presenta una notable variabilidad, influenciada por la altitud y el tamaño de las ganaderías. Desde las zonas altas de la sierra hasta las estribaciones y la costa, encontramos una diversidad de fincas ganaderas, clasificadas como pequeñas (<5 ha), medianas (5-50 ha) y grandes (>50 ha). Predominantemente, un alto

porcentaje de estas ganaderías aún se manejan de forma tradicional, sin registros ni control de parámetros productivos o reproductivos, cuya falta de control limita el desarrollo eficiente de la actividad y afecta directamente la rentabilidad de los productores. (SINAGAP, 2012). Para mejorar la gestión y aumentar la rentabilidad de las ganaderías en la región, Ortega, et al (2017) desarrolló un estudio enfocado en los cantones occidentales de Azuay, visualizando y analizando variables clave como la producción de leche, la calidad del producto, la salud del ganado y las prácticas de alimentación del mismo. Los resultados de este estudio proporcionaron información valiosa para la implementación de estrategias para optimizar la producción de leche en la provincia de Azuay. Demostrando que, a través de la adopción de prácticas modernas y eficientes, las ganaderías de la región podrán alcanzar un mayor nivel de productividad y rentabilidad que contribuyen al desarrollo económico del sector agropecuario.

Las zonas de difícil acceso en la provincia de Azuay se caracterizan por su altitud elevada (entre 2600 y 3800 msnm) y su clima de alta montaña, con una temperatura media anual de aproximadamente 15,1 °C. En estas zonas se produce una cantidad significativa de leche, con un total de 561.000 litros al año. Esto equivale a una producción semanal de 10.788,5 litros. (Bayardo L, 2020). La actividad principal de las zonas rurales de Azuay es la ganadería de leche, luego los cultivos de ciclo corto, como maíz, fréjol, habas, papas, arvejas, avena, trigo y cebada, pero se viene observando en los últimos años, que este tipo de cultivos en estas zonas ha ido disminuyendo considerablemente, siendo reemplazada por pastos y potreros, dado a que la ganadería es la actividad productiva por excelencia y ha dado origen a organizaciones productivas de leche de gran trascendencia.

En vista de que el transporte de la leche, se viene realizando por camiones cisternas hasta la compañía pasteurizadora, a través de rutas que no incluyen a pequeños productores surge entonces la necesidad de crear mecanismos de transporte para incluirlos y de esta manera sumar su contribución a la producción del cantón. Estos mecanismos corresponden al acopio y transporte y deben cumplir con la normativa que rige la producción de leche en Ecuador correspondiente a INEN 009-2012, AGROCALIDAD, donde se establecen los requisitos para garantizar calidad e inocuidad, por lo cual hasta el momento de diagnóstico y detección de la necesidad, se observa que los centros de acopio principales y los camiones refrigerados son los que cumplen dichos requisitos en el momento de realizar la ruta para el transporte, por lo que se parte entonces de estas observaciones para el planteamiento del diseño.

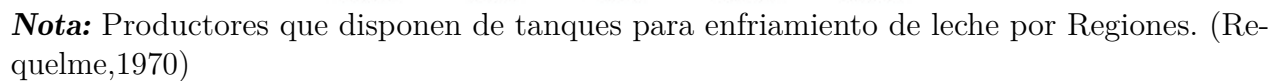
2.2. Descripción del problema

La producción lechera en Ecuador es un sector dinámico y complejo, con diferentes sistemas de producción correspondientes a pequeñas unidades familiares hasta grandes empresas tecnificadas, con sus propias características, limitaciones y potencialidades dentro del Sistema de Producción Lechera (SPL) en el país, con objetivos y estrategias para su desarrollo sostenible. Un estudio de campo en siete provincias ecuatorianas, utilizando un muestreo aleatorio bietápico estratificado por tamaño de finca, recopiló información sobre variables socioeconómicas, técnicas y comerciales de los SPL. (Requelme N, 2012).

El estudio realizado encontró una gran diversidad de SPL, con diferentes niveles de tecnificación, escala de producción y orientación al mercado, en los que se identificaron cuatro tipos principales: familiar, tecnificado, semi-tecnificado y tradicional los cuales se enfrentan a desafíos como acceso a tecnología, conocimiento técnico, precios volátiles de la leche y falta de apoyo técnico y financiero. sin embargo, en las zonas de difícil acceso de la provincia de Azuay se produce una cantidad significativa de leche, pero su recolección y transporte es un problema complejo que afecta a la calidad y a la rentabilidad del proceso lo que se debe principalmente a la dispersión de los productores en zonas rurales, dificultando la llegada de los camiones recolectores y provocando retrasos en el proceso de producción.

Otro problema es la altitud elevada de estas zonas, que puede afectar a la conservación de la leche. La temperatura media anual de estas zonas es de aproximadamente 15,1 °C, la cual es una temperatura ideal para el crecimiento de microorganismos patógenos. De modo, que al ser la leche es un producto altamente perecedero, susceptible a la descomposición por bacterias y otros microorganismos, es requerido el uso de tanques de frío, los cuales permiten mantener la temperatura de la leche a niveles óptimos, retardando el crecimiento microbiano y prolongando su vida útil. Sin embargo, en los cantones de la Costa, la disponibilidad de tanques de frío a nivel individual es baja, como se muestra en la ilustración 1. De modo que los productores generalmente dependen de centros de acopio, a veces particulares, para el enfriamiento y almacenamiento de la leche. Esta situación limita el control que los productores tienen sobre la calidad de su producto y puede afectar su precio de venta. (Requelme N, 2012).

Distribución de los productores con sistema de refrigeración y almacenamiento de leche.



Para solucionar esta problemática, se ha propuesto el diseño de un sistema de tuberías para la recolección, acopio y el transporte de leche desde las zonas rurales hasta los centros de acopio y procesamiento. Este sistema permitiría acercar los camiones recolectores a las zonas de producción y reducir el tiempo de recolección, lo que contribuiría a mejorar la calidad de la leche y la rentabilidad de los productores.

2.3. Importancia y alcances

El grupo objetivo son los pequeños y medianos productores de leche, que se encuentren en zonas de difícil acceso para los camiones recolectores.

La variable dependiente sería la inocuidad de la leche, medida por un conjunto de indicadores, como la temperatura de transporte, el tiempo de transporte y la presencia de bacterias. Mientras que la variable independiente sería el sistema automatizado de transporte de lácteos. Esta variable sería manipulada por los investigadores para evaluar su impacto en la inocuidad de la leche.

Es de gran importancia ya que al implementarse un sistema automatizado se reducen tiempos de procesos y ayudan a los pequeños productores a aumentar sus ganancias mejorando la calidad del producto.

2.4. Delimitación

El problema de estudio se delimitará en las siguientes dimensiones:

2.4.1. Espacial o geográfica

Zonas rurales con difícil acceso en el Azuay, por lo que la cantidad de leche a almacenar y transportar estará atado a un porcentaje de la producción total de la zona, de modo que el servicio se limitará al manejo de entre 5000 y 10000 Lts de leche mensuales.

2.5. Problema General

- ¿Es viable técnicamente el diseño de un sistema de tuberías para el transporte automatizado de leche desde las zonas de difícil acceso de la provincia de Azuay?

Una solución para agricultores y productores de leche que beneficie a su mercado y aporte al fortalecimiento económico en la zona, haciendo que la región cuente con sistemas automatizados y tecnología que pueda aumentar la producción y operaciones del mismo.

2.6. Problemas Específicos

- ¿Qué factores geográficos afectan la actual ruta de transporte de la leche?

- ¿Qué factores técnicos iniciales deben considerarse para el diseño de un sistema de tuberías para el transporte de leche desde las zonas de difícil acceso de la provincia de Azuay?

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

- Evaluar la viabilidad técnica de la propuesta de diseño de un sistema de tuberías para el transporte de leche desde las zonas de difícil acceso de la provincia de Azuay.

3.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar los factores técnicos iniciales que deben considerarse en el diseño de un sistema de tuberías para el transporte de leche desde las zonas de difícil acceso de la provincia de Azuay.
- Diseñar un sistema de bombas y tuberías para el transporte de lácteos que garantice los estándares de calidad exigidos en la industria alimenticia.
- Proponer los sistemas de medición y control que actúan sobre bombas, válvulas y tuberías garantizando los rangos de calidad exigidos en la industria alimenticia.

4. Hipótesis

4.1. Hipótesis General

El diseño de un sistema de transporte de leche, permitirá superar las limitaciones de la ruta actual, que va desde los potreros hacia los vehículos cisterna que transportan la leche. La implementación de este diseño permitirá incrementar la capacidad de movilidad de la leche, mientras que su automatización permitirá controlar los procesos de almacenamiento y limpieza del sistema.

5. Justificación

La leche es un alimento esencial para la dieta humana, fuente importante de proteínas, calcio y otros nutrientes. Sin embargo, la leche es un producto perecedero que debe manipularse con cuidado para garantizar su seguridad alimentaria. El transporte de la leche es un proceso crítico para la cadena de suministro de este alimento ya que el mismo debe transportarse a una temperatura adecuada para evitar el crecimiento de bacterias y otros microorganismos patógenos garantizando la inocuidad alimentaria cuando se preparen y consuman según las instrucciones. La leche es un alimento especialmente susceptible a la contaminación, por lo que es importante garantizar su inocuidad durante todo el proceso de producción, desde la granja hasta el consumidor. El diseño de un sistema automatizado de transporte de lácteos tiene el potencial de mejorar la seguridad alimentaria de la leche, permitiendo un transporte de manera más rápida y eficiente, lo que ayudaría a mantener la leche a la temperatura adecuada. La investigación propuesta contribuiría al desarrollo de un sistema automatizado de transporte de lácteos que sea seguro, eficiente y trazable de modo su implementación representa una inversión que podría tener un impacto significativo en la industria láctea. Este sistema tiene el potencial de mejorar la seguridad alimentaria de la leche, reducir los costos de producción y mejorar las condiciones de trabajo del sector lácteo en la provincia de Azuay.

6. Marco Teórico

En este capítulo, se plantean la situación actual de la ganadería en el Ecuador, las características básicas de leche cruda, procesos de producción, almacenamiento, transporte de leche, y los sistemas para la captación de leche, limpieza CIP (Clean in Place -limpieza in situ o limpieza sin desmontar) y limpieza COP (Cleaning out of Place - limpieza fuera de posición).

6.1. Fundamentos del procesamiento de la leche cruda

La leche es una secreción natural de las glándulas mamarias de los mamíferos, sirve de alimento para sus crías. Es de color blanco en un determinado volumen, con un sabor ligeramente dulce y una composición química compleja que incluye agua, grasa, proteínas, lactosa, minerales y vitaminas. Es una fuente importante de nutrimentos como calcio, fósforo, vitamina A, vitamina D, riboflavina (vitamina B2) y proteínas. Además, se utiliza para elaborar una amplia variedad de productos lácteos que son consumidos en todo el mundo.

6.1.1. Características de la leche

Este alimento se destaca por su composición nutricional, sus propiedades físicoquímicas y su empleo como materia prima en la elaboración de productos lácteos, por los siguientes aspectos:

- **Composición química:** contiene agua, grasa, proteínas, lactosa, minerales y vitaminas en diferentes proporciones, dependiendo de la especie y raza del ganado, así como otros factores.
- **Valor nutricional:** es una fuente importante de nutrimentos como calcio, fósforo, vitamina A, vitamina D, riboflavina (vitamina B2) y proteínas de alto valor biológico.
- **Propiedades físicoquímicas:** es un líquido de sabor ligeramente dulce, de color blanco en un determinado volumen, y contiene pigmentos como el caroteno y la riboflavina.
- **Versatilidad:** empleada en la elaboración de una amplia variedad de productos lácteos, usados como materia prima en la elaboración de múltiples platillos.
- **Inocuidad:** Los procesos industriales permiten garantizar la inocuidad de la leche, lo que la convierte en un alimento seguro para el consumo humano.

La composición nutricional de la leche varía según la especie animal, la raza, la alimentación y el manejo de los mismos. Sin embargo, sigue siendo una buena fuente de los siguientes nutrientes:

- **Proteínas:** son completas, lo que significa que contienen todos los aminoácidos esenciales que el cuerpo necesita y determinan el crecimiento, el desarrollo, la reparación de los tejidos y el funcionamiento del sistema inmunológico.
- **Calcio:** un mineral esencial para la salud de los huesos y los dientes, importante también para la contracción muscular, coagulación sanguínea y la transmisión de los impulsos nerviosos.
- **Fósforo:** mineral básico para la salud de los huesos, dientes, metabolismo energético, síntesis de ADN y la producción de ATP.
- **Vitamina A:** ayuda a mantener una saludable visión, sistema inmunitario y la salud de la piel. La vitamina A ayuda en la producción de rodopsina, proteína presente en la retina y necesaria para la visión nocturna, también es importante para el correcto funcionamiento del sistema inmunológico y la salud de la piel.

- **Vitamina B2:** conocida como riboflavina, importante para el metabolismo energético, producción de glóbulos rojos y salud de la piel, ayuda a convertir alimentos en energía y también es importante para la producción de glóbulos rojos, que transportan oxígeno a las células. En la salud de la piel, ayuda a producir colágeno, una proteína que contribuye en la elasticidad de la piel.
- **Vitamina D:** importante en la absorción de calcio, mantenimiento de huesos y dientes sanos, interviniendo especialmente en el sistema inmunitario y para la salud muscular.

Además de estos nutrientes, la leche también contiene pequeñas cantidades de otros nutrientes, como zinc, hierro, magnesio, potasio y vitaminas B1, B3, B6, B9 y B12. Lo que la convierte en un alimento nutritivo, sin embargo, es importante consumirla pasteurizada o ultra pasteurizada para garantizar su seguridad. A pesar de todos los beneficios mencionados, la leche aún presenta déficits de hierro y vitamina C, que deben ser aportados de otras fuentes. El consumo recomendado de lácteos y derivados, según las guías alimentarias de la sociedad de nutrición comunitaria, aconsejan una ingesta de leche de entre 2 y 4 raciones diarias en función de la edad y el estado fisiológico de una persona (FAO., 2023).

6.2. Proceso de producción de la leche cruda

La producción de leche de vaca está influenciada por una serie de factores, entre los que se encuentran:

- **Genética:** La raza de la vaca, determina la producción de leche, las razas lecheras, como la Holstein Friesian, producen más leche que las razas cárnicas.
- **Estado de salud:** Las enfermedades pueden reducir la producción de leche y afectar su calidad.
- **Alimentación:** determina la producción de leche, las vacas necesitan una dieta equilibrada que contenga los nutrientes necesarios para la producción de leche.
- **Ordeño:** El ordeño debe realizarse de forma adecuada para evitar la contaminación de la leche y el mismo debe realizarse con frecuencia y de forma higiénica.
- **Manejo:** El manejo de las vacas debe ser adecuado para garantizar su bienestar y su productividad. Las vacas deben ser tratadas con cuidado y deben tener acceso a agua limpia, sombra y alimento.

Este proceso se puede dividir en las siguientes etapas:

- **Sistemas de ordeño:** sistema de extracción de la leche de las ubres de las vacas, puede ser manual o mecánico. El proceso manual, implica recoger la leche con recipientes ubicados debajo de las ubres de las vacas y requiere de la intervención de un operario por vaca. En el proceso automático, la leche se recoge con equipos que se conectan directamente a las ubres de las vacas, lo que lo convierte en un proceso más eficiente que el manual, ya que permite ordeñar a varias vacas simultáneamente. El tipo de proceso es lo que le da al hato el nivel de tecnificación, por lo tanto, junto al tipo de alimentación de las vacas, condiciona la existencia de diferentes sistemas de producción de leche de vaca, entre estos se tiene:

Sistemas de pequeño tamaño: Estos sistemas se caracterizan por tener un hato de tamaño generalmente inferior a 50 vacas, cuyo nivel de tecnificación es bajo y la alimentación de los animales se basa en pastos y forrajes.

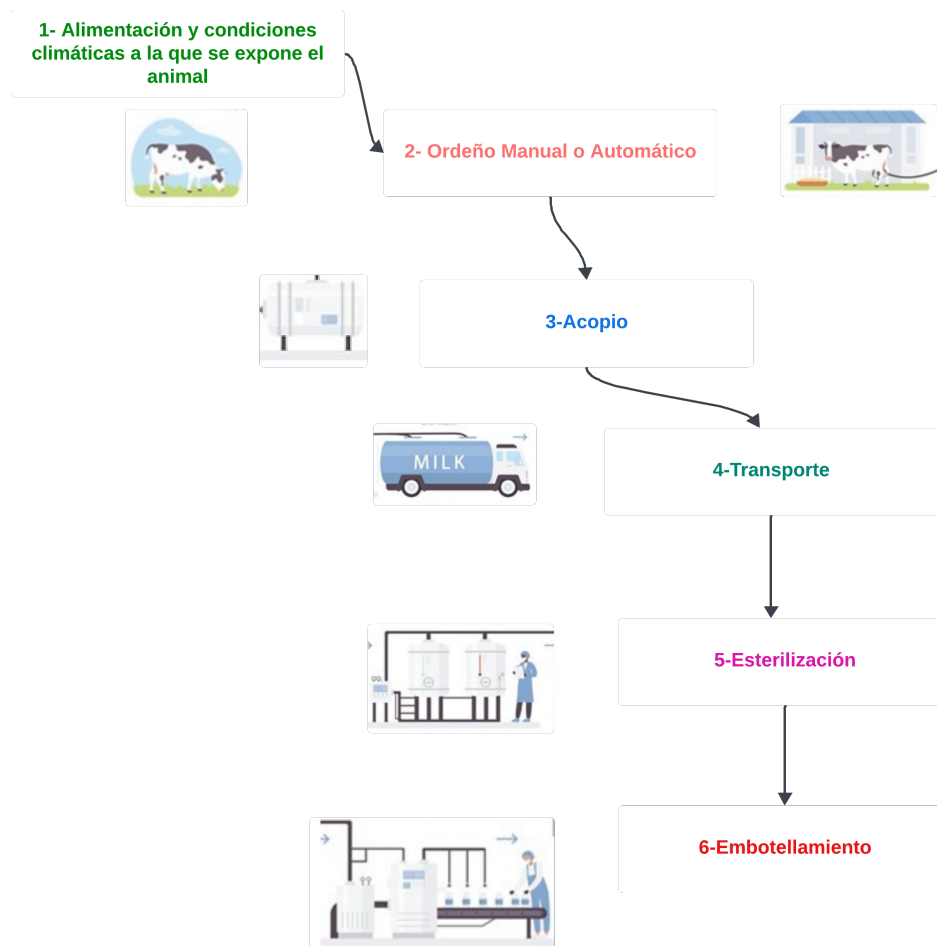
Sistemas de tamaño mediano: Estos sistemas se caracterizan por tener una fuente de producción entre 50 y 200 vacas, con un nivel de tecnificación medio y la alimentación de las vacas se basa en pastos, forrajes y concentrados.

Sistemas de gran tamaño: Estos sistemas se caracterizan por tener un hato de tamaño generalmente superior a 200 vacas. El nivel de tecnificación es alto y la alimentación de las vacas se basa en concentrados.

- **Tratamiento térmico:** es una etapa importante en el proceso de producción de la leche, que garantiza su seguridad alimentaria, elimina microorganismos patógenos que pueden causar enfermedades.
- **Envasado:** La leche tratada térmicamente se envasa en recipientes de cartón, plástico o vidrio. Los recipientes deben ser herméticos para evitar la contaminación.
- **Almacenamiento y distribución:** La leche envasada se almacena a una temperatura de refrigeración para conservar su calidad. La leche se distribuye a través de una red de transporte para llegar a los consumidores. Ejemplo de este proceso puede observarse en la figura:

Figura 2

Descripción del proceso de producción de la Leche.



Nota: Descripción del proceso de producción de la leche. (Freepik, 2024)

6.3. Proceso de recolección y almacenamiento de la leche

El acopio de leche es el proceso de almacenamiento de la leche antes de su transporte y se puede realizar en tanques de refrigeración o en tanques de almacenamiento a temperatura ambiente. La calidad original de la leche, se mantiene con el manejo adecuado de esta y el uso de métodos de conservación, es decir, tanques de almacenamiento refrigerados, para enfriar y conservar la leche a 0-4°C, sin que pierda sus propiedades nutricionales y sin que se contamine e inhibiendo el desarrollo de los microorganismos, lo que le otorga una buena calidad microbiológica. El transporte de la leche cruda desde el tambo hasta las industrias se

debe realizar con la máxima higiene y manteniendo el frío, para impedir la multiplicación de las bacterias, por lo que, se emplean camiones cisternas especiales denominados “termos”, que se encargan de mantener refrigerada a la leche que ha sido enfriada previamente en el tambo, Mientras el camión cisterna se carga en el tambo, el camionero retira una muestra de leche cruda, para realizar análisis en el laboratorio de la industria (Bocci y Casas, 2013) Lo anteriormente descrito, es una síntesis de la revisión de los elementos que soportan y dan marco normativo al proceso de producción y corresponden a:

- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 9:2012, sobre los requisitos de producción de la Leche cruda.
- Ley Orgánica de Salud Pública.
- Ley de la Producción, Competitividad y Comercio Exterior.
- Reglamento de la Ley de la Producción, Competitividad y Comercio Exterior

La NTE INEN 9:2012 establece los requisitos que debe cumplir la leche cruda para su comercialización en Ecuador, la cual establece las siguientes condiciones para ser considerada como apta para los humanos:

- **Composición:** La leche cruda debe tener un contenido mínimo de grasa de 3,2%, proteína de 3,0% y sólidos no grasos de 8,2%. Estos valores se expresan en porcentaje en peso, calculados sobre la base de la leche cruda.
- **Contaminación:** Esta no debe contener más de 100000 unidades formadoras de colonias (UFC) de microorganismos aerobios mesófilos por mililitro (ml). Los microorganismos aerobios mesófilos son microorganismos que crecen en condiciones de temperatura ambiente (20-40 °C).
- **Contaminación por coliformes fecales:** La leche cruda no debe contener más de 3 unidades formadoras de colonias (UFC) de coliformes fecales por 100 ml.
- **Contaminación por salmonella:** No debe contener salmonella.

Las otras normativas y leyes que regulan la producción de leche en Ecuador establecen los siguientes requisitos:

- **Registro sanitario:** Los establecimientos dedicados a la producción, envasado y distribución de leche deben contar con registro sanitario otorgado por la Agencia Nacional

de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria (ARCSA). El registro sanitario es un documento que acredita que un establecimiento cumple con los requisitos sanitarios establecidos en la normativa.

- **Buenas prácticas de manufactura:** Los establecimientos dedicados a la producción, envasado y distribución de leche deben cumplir con las buenas prácticas de manufactura (BPM) establecidas por ARCSA. Las BPM son un conjunto de normas y procedimientos que se deben seguir para garantizar la seguridad y calidad de los alimentos.
- **Control de calidad:** Los establecimientos dedicados a la producción, envasado y distribución de leche deben contar con un sistema de control de calidad garante de la seguridad y calidad de la leche, debe incluir procedimientos para la toma de muestras, el análisis de los resultados y la implementación de acciones correctivas en caso de que estos no cumplan con los requisitos establecidos.

De la norma NB 33015 (2006) se tiene que, La leche debe “recogerse en condiciones higiénicas” para evitar su contaminación. En función de esta consideración se exponen en el siguiente punto, algunos factores que pudieran afectar dichas condiciones.

6.3.1. Factores que afectan la calidad de la leche

La calidad de un producto, depende de las expectativas del consumidor. En el caso de la leche, se define como la capacidad de satisfacer las expectativas y necesidades nutricionales, sanitarias y organolépticas del consumidor tomadas en cuenta en cada etapa del proceso de producción. Las necesidades nutricionales de la leche se refieren a su composición, la cual debe cumplir con los estándares establecidos por las autoridades sanitarias para ser aceptada. Al mismo tiempo, las necesidades sanitarias de la leche se refieren a su seguridad para el consumo humano, en ese sentido la misma debe estar libre de microorganismos patógenos, como bacterias, virus y parásitos. La calidad de la leche depende de una serie de factores, entre los que se encuentran:

- **Factores genéticos:** La raza y el estado de salud de los animales afectan la composición de la leche. Las vacas de alta producción suelen tener una leche con un mayor contenido de grasa y proteína.
- **Factores ambientales:** El clima, la alimentación y el manejo de los animales también pueden influir en la calidad de la leche. Las vacas que se alimentan bien y están bien cuidadas producen una leche de mejor calidad.

- **Factores de manejo:** La higiene del ordeño y el almacenamiento de la leche son esenciales para garantizar su calidad. La leche debe ser ordeñada en condiciones higiénicas y debe almacenarse a una temperatura adecuada para evitar la contaminación.

6.3.2. Centros de acopio de la leche

Los centros de recopilación de leche son lugares donde se reciben, almacenan y transportan la leche cruda desde las fincas productoras hasta las plantas industriales. Estos centros son muy importantes en la cadena láctea porque aseguran que la leche llegue a las fábricas en buenas condiciones para ser procesada y consumida. Estos centros suelen estar ubicados cerca de las fincas productoras, generalmente en zonas rurales. Pueden ser propiedad de empresas privadas, cooperativas o asociaciones de productores. En resumen, los centros de recopilación son esenciales para garantizar que la leche sea recolectada correctamente y llegue a su destino final sin problemas. Las funciones principales desempeñadas por estos lugares abarcan:

- **Recepción:** Los camiones cisterna transportan la leche desde las fincas al centro donde es descargada en tanques refrigerados con temperaturas entre 0 y 4°C.
- **Control de calidad:** Se lleva a cabo el control correspondiente para garantizar su calidad e inocuidad mediante medición de temperatura, densidad, contenido graso y presencia microbiana patógena junto con otros parámetros relevantes.
- **Almacenamiento:** Se mantiene refrigerada a una temperatura entre 0 y 4°C hasta ser trasladada hacia las plantas industriales.
- **Transporte:** El transporte hacia dichas plantas se efectúa mediante camiones cisterna.

Los centros de recolección láctea deben satisfacer los requisitos establecidos por las autoridades sanitarias. Dichos requisitos abarcan medidas como: la construcción y el equipamiento del centro en consonancia con las normas higiénicas, la capacitación del personal en seguridad alimentaria e higiene, y el cumplimiento de las exigencias sanitarias en cuanto a la recepción, almacenamiento y transporte de la leche. Los centros de acopio lácteo desempeñan un papel esencial para garantizar la seguridad alimentaria al asegurar que dicha sustancia llegue a las plantas industriales en óptimas condiciones para su procesamiento y consumo.

6.3.2.1. Situación de la ganadería en el Ecuador

En Ecuador la actividad ganadera es sumamente importante, su contribución promedio a la economía del país corresponde al 13%, mientras que el sector agropecuario aporta en el PIB

(Producto Interno Bruto) 10,7%, ubicándose en el segundo lugar después de la producción petrolera. Sin embargo, esta actividad sigue siendo insostenible en algunas provincias, no solo por amenazas para el medio ambiente propias de esta actividad, sino también por la situación vial que afecta la comercialización de los productos como lácteos y derivados, entre otros (Ministerio del Ambiente, 2020).

Según el INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos), las provincias de la Sierra norte y sur, son los mayores productores agrícolas y ganaderos, entre estos Azuay. (INEC., 2020). El sector agroindustrial ha sido por años el motor, no petrolero, de la economía del país y un fuerte demandante de mano de obra calificada y no calificada. Su contribución a la economía ecuatoriana ha sido determinante en el crecimiento del PIB y de la ocupación de la Población Económicamente Activa (PEA) (INEC., 2020).

De este contexto económico, se parte entonces para la ubicación del sector de prueba y sobre el cual se realiza el análisis de las condiciones geográficas más críticas para un sistema de acopio transporte automatizado de leche cruda.

6.3.2.2. Centros de acopio de la leche en la región de Azuay

El sector agroindustrial, ha dado paso a la elaboración de diversos estudios como Rebai (2010), Zhindon et al. (2017), Alaba (2019) y Salazar (2019), todos estos relacionados en el entorno del Azuay, llegando así al mismo criterio de invertir en agricultura y ganadería y esto no solo compromete a destinar capital, esto incluye generar acciones sostenibles que fomenten el desarrollo, investigación e innovación tanto en capacidad humana como en procesos industriales (INEC., 2020).

Azuay, es una importante zona de producción lechera. En el 2022, produjo un total de 200 millones de litros de leche, lo que representa el 10% de la producción nacional.

Los centros de recepción y almacenamiento de leche cruda en la región de Azuay son una parte esencial de la cadena de producción láctea. Estos centros se encargan de recibir y almacenar la leche cruda desde las granjas productoras hasta las plantas industriales. Los centros de recepción y almacenamiento de leche cruda en la región de Azuay suelen tener las siguientes características:

- **Tamaño:** suelen ser pequeños o medianos, aunque algunos son considerados grandes debido a que pueden recibir hasta 100000,00 litros diarios.
- **Equipamiento:** En cuanto al equipamiento, estos centros cuentan con tanques especiales para el almacenamiento que permiten mantener la leche cruda a una temperatura

óptima entre 0 y 4 °C. Además, se utilizan equipos específicos para refrigeración y limpieza/desinfección tanto del equipo como del lugar.

- **Procesos:** Por otro lado, los procesos llevados a cabo por los centros incluyen la recepción del producto directamente desde las granjas productoras mediante camiones cisterna; seguido por un control riguroso que garantiza tanto calidad como inocuidad antes de proceder al almacenaje temporal dentro del centro.

Los establecimientos encargados de recibir y almacenar leche cruda en la región de Azuay desempeñan un papel crucial en el ámbito de la seguridad alimentaria. Estos lugares aseguran que la leche llegue a las plantas industriales en óptimas condiciones para su procesamiento y consumo. Asimismo, es importante destacar que estos centros contribuyen al desarrollo económico local, ya que generan empleo y dinamizan la actividad económica de las zonas rurales. Sin embargo, estos establecimientos también enfrentan diversos desafíos. Uno de ellos es la falta de infraestructura adecuada para cumplir con los requisitos sanitarios necesarios. Otro problema es el personal no capacitado en higiene y seguridad alimentaria presente en algunos centros. Por último, ciertos centros carecen del financiamiento necesario para mejorar sus instalaciones y procesos productivos.

6.4. Transporte de la Leche

Etapla clave en la cadena de producción láctea. La leche es un producto perecedero, por lo que es importante que se transporte de forma adecuada para garantizar su calidad y seguridad. El objetivo del transporte de leche es asegurar que llegue a la planta industrial en condiciones óptimas para su procesamiento. Para ello, es necesario que la leche se mantenga a una temperatura constante de entre 0 y 4 °C durante todo el viaje. Entre los factores que afectan la calidad de la leche en el transporte se encuentran:

- **Temperatura:** debe mantenerse a una temperatura entre 0 y 4 °C durante todo el transporte, a temperaturas superiores, puede perder sus propiedades nutricionales y aumentar el riesgo de contaminación.
- **Tiempo de transporte:** El tiempo de transporte debe ser lo más corto posible. Si el tiempo de transporte es prolongado, la leche puede perder sus propiedades nutricionales y aumentar el riesgo de contaminación. Generalmente los vehículos utilizados para el transporte de leche deben estar limpios y desinfectados y contar con sistemas de refrigeración que permitan mantener la leche a una temperatura constante de entre 0 y 4 °C.

6.4.1. Sistemas de Transporte de la Leche

En función de la distancia entre la granja productora y la planta industrial, se pueden considerar las siguientes alternativas de transporte de leche:

- **Envío inmediato de la leche:** Esta alternativa es válida solo si la distancia es corta y la leche puede llegar a la planta industrial en menos de dos horas. La leche se transporta en camiones cisternas de gran capacidad (superior a 4000 litros). El camión debe estar equipado con equipos para medir la cantidad de leche y tomar muestras para su análisis.
- **Tratamiento de frío en producción:** Esta alternativa permite que la leche se mantenga a temperaturas bajas durante todo el tiempo de transporte. En el caso de los tanques de enfriamiento y almacenamiento, la leche se enfría a temperaturas inferiores a 4 °C. Estos tanques suelen estar fabricados en acero inoxidable y tienen capacidades que van desde 100 a 2000 litros o más. En el caso del enfriamiento directo en el tanque de ordeño, la leche se enfría a temperaturas inferiores a 10 °C utilizando agua helada o gases refrigerantes.
- **Envío de la leche a centros de recolección:** Esta alternativa es la más adecuada para granjas pequeñas o ubicadas a gran distancia de la planta industrial. En los centros de recolección, la leche se enfría a temperaturas inferiores a 4 °C. También se efectúa el control de peso, se toman muestras y se clasifica la leche para su pago.

6.5. Sistemas de captación de leche

Se emplean para descargar la leche desde el tanquero hasta los silos de almacenamiento o viceversa, se realiza empleando mangueras de grado alimenticio, eliminadores de aire, bombas, filtros, sensores de caudal y otros componentes que puedan ser requeridos. A continuación, se enumeran de manera detallada:

6.5.1. Mangueras para alimentos

Las mangueras manipuladas para el traslado de líquidos no solo son mangueras destinadas al uso común de la materia prima, sino también deben cumplir el requerimiento de no contaminar la misma. En el campo industrial de la cervecería, lechería, y otras emplean mangueras lavables con agua caliente o vapor, por las condiciones en las que trabajan, como el arrastre por lugares inadecuados, que produce deterioro del hule de las mangueras, por ello, existen mangueras cubiertas para la resistencia de arrastres, con estas también se debe

mantener precaución al usar agua caliente, ya que se debe drenar y secar la cubierta para mantener la manguera en condiciones.

6.5.2. Manguera no Tóxica con Refuerzo de Nylon

PVC plastificado no tóxico, transparente flexible y liso, reforzado en nylon, resistente a la abrasión, clima y ozono, especialmente para uso alimenticio como leche, aceite, vinos, aguas destiladas etc., su temperatura de trabajo oscila entre -5°C / $+60^{\circ}\text{C}$.

Figura 3

Manguera no tóxica con refuerzo de Nylon.



Nota: Se observa un ejemplo del tipo de tubería de no toxica con refuerzo de nylon utilizada comercialmente en la industria alimenticia (IEWC., 2023)

Tabla 1

Características de Manguera.

Características de Manguera	
Item Code	TT-DFS-100
Brand	Techflex
Color	Blue
Certifications	FDA title 21 CFR section 177.1810 U.S Pharmacopeia Class IV, Cytotoxicity Criteria, Traceability: Lot and Batch, Animal derived ingredient free, Phthalate free, REACH and RoHS compliant
Temp Rating	180°F

Nota: Entre características de la manguera no tóxica se aprecia una alta resistencia a la temperatura. (IEWC., 2023)

Características de los tubos Techflex DairyFlow:

- Diseñado para transferencia de leche cruda (vacío/presión)
- Aproximadamente 1/3 más ligero que la silicona.
- Tan flexible como la silicona.
- Flexibilidad extrema en condiciones bajo cero.
- Resistencia superior al desgarro y la abrasión.
- Sin ftalatos/sin ingredientes derivados de animales.
- Resistente a ácidos y bases.
- Adecuado para limpieza en caliente in situ (CIP) y limpieza fuera de lugar (COP).
- Certificado FDA Título 21 CFR Sección 177.1810.

- Cumple con REACH y RoHS.
- Trazabilidad de lotes y lotes.
- Propiedades de los tubos Techflex DairyFlow:
 - Gravedad específica (ASTM D792)
 - Durómetro Shore A (5SEC.ASTM D2240): 69
 - Alargamiento por tracción en rotura: 600 psi (ASME D-412-98)
 - Resistencia al desgarro: 230 lb-f/pulgada (D624-91 – Troquel B)
 - Resistencia a la abrasión: 1,2 mg perdidos/1000 ciclos
 - Punto frágil: -112°F (ASTM D-789)
 - Baja temperatura. Flexión a -60°F: Aprobado
 - Resistencia al calor: 275°F
- Precio \$130.00 usd X 30 Mts + envío

6.5.3. Manguera no toxica con refuerzo de alambre

PVC plastificado no tóxico, transparente flexible y liso, espiral galvanizada a prueba de golpes, resistente a abrasión, clima, ozono.

Usos y Recomendaciones: Empleada para leche, aceite, vinos, aguas destiladas etc.

Presión de trabajo:

Tabla 2

Presión de Trabajo.

DIAMETRO INTERIOR	PRESIÓN DE TRABAJO
1/2"	200
3/4"	200

Nota: En la tabla se observan dimensiones y presiones de trabajo de la manguera según (ASTM., 2021)

Temperatura de trabajo: -5°C / +60°C

6.5.4. Manguera atóxica o grado alimenticio

Construcción: Hecha en caucho sintético NBR blanco no tóxico, inodoro, de categoría alimenticia (resistente a la limpieza con detergente), reforzada en textil sintético de alta resistencia y de alambre de acero.

Usos y recomendaciones: Mangueras diseñadas para carga y / o descarga de agua, productos lácteos, aceites y bebidas en general. **Presión de trabajo:** 150 PSI **Temperatura de trabajo:** -35°C / +90°C.

6.6. Aireación de la leche

En esta sección se describe como se identifica la presencia de aire y/o gases en la leche, como pueden ser eliminados previo al proceso de esterilización, y como pudieran afectar válvulas, tuberías y bombas, también destaca el adecuado uso de los eliminadores en diferentes secciones del transporte.

6.6.1. Aire y gases la leche

Cuando la leche cruda es transportada posee un alto porcentaje de aire que puede ocupar hasta el 10% del volumen total. Durante la etapa de transporte y almacenamiento, la eliminación de aire puede ser realizada con tanques a presión atmosférica colocados en distintos lugares de la instalación como cisternas, tuberías o bombas (IEWC., 2023).

También se realiza un tratamiento al vacío previo al proceso de esterilización mencionado previamente, que permite eliminar completamente el aire disperso o disuelto de la leche y su funcionamiento viene dado por:

- La leche, al ser previamente calentada es introducida en la cámara de expansión.
- En la cámara hay un vacío equivalente a un punto de ebullición de unos 7-8 °C menos que la temperatura de la leche.
- El cambio de presión hace que salga el aire.
- Los vapores entran a un condensador.
- la leche que fué condensada vuelve con el resto y se separan los gases.

6.6.2. Problemáticas con aire disperso en la leche

Entre los problemas que se pueden presentar si el aire no es eliminado durante el proceso de transporte y traslado se encuentra incrustaciones en los equipos como válvulas, tuberías, bombas, medidores de caudal y presión afectando severamente las mediciones obtenidas.

6.6.3. Eliminación del aire recogido de la leche

Los eliminadores de aire se pueden observar en la ilustración 4, se encargan de eliminar gases presentes en los líquidos bombeados. Reduciendo los problemas asociados a la existencia de gases como mala precisión en la lectura del medidor de flujo y problemas de calidad de flujo.

Figura 4

Eliminador de aire.



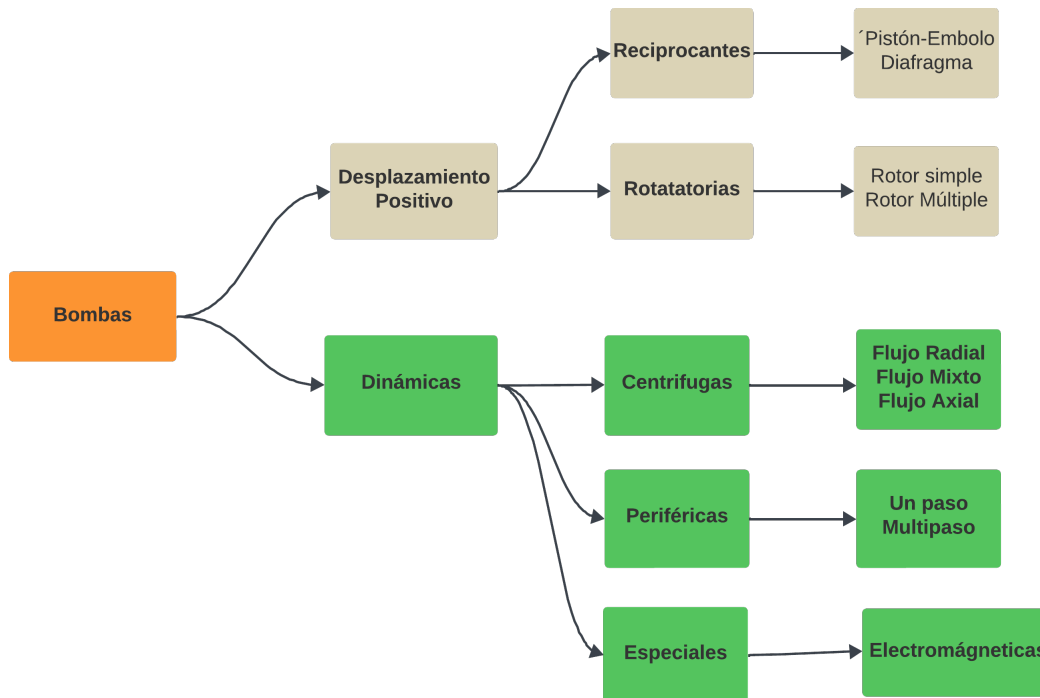
Nota: La imagen muestra un eliminador de aire el cual es un dispositivo que se utiliza para eliminar las burbujas de aire de los fluidos (Jara, 2014)

6.7. Bombas Alimenticias

En la industria las bombas son utilizadas en el transporte de leche desde el tanquero hacia los silos o viceversa y luego a producción mediante tuberías, deben ser herméticas para proteger de los gérmenes y usualmente se utiliza el acero inoxidable ISI 316L. Estas bombas se limpian mediante CIP (cleaning in place) (Gargil, 2021). A continuación, se enumeran diferentes tipos de bombas empleadas.

Figura 5

Clasificación de Bombas Alimenticias.



Nota: La imagen muestra un diagrama de clasificación de los diferentes tipos de bombas utilizadas en la industria alimenticia. (Gargil, 2021)

Formulario para selección de Bomba:

Tabla 3

Formulario de Selección de Bombas

Conceptos Introdutorios	Fórmula
Carga total de una bomba	$h_a = \frac{p_2 - p_1}{\gamma} + z_2 - z_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + h_l$
Potencia suministrada	$P_A = h_a \text{ y } Q$
Eficiencia de Bomba	$e_M = P_A / P_1$
Potencia de entrada	$P_1 = P_A / e_M$

Nota: Parámetros empleados en la selección de una bomba, según (Munson y T., 1999)

6.7.1. Bombas centrífugas

Son las más utilizadas en la industria lácteo para transferencia de líquidos y su ventaja primordial es su diseño sanitario y económico y como costo estimado tiene un valor de \$250 USD.

Figura 6

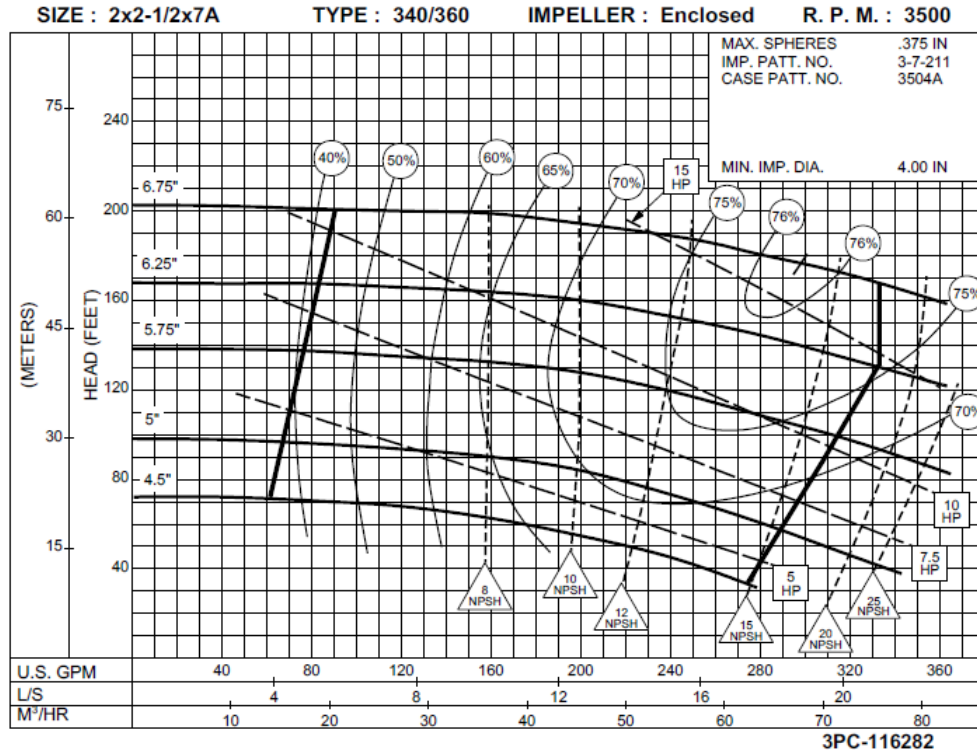
Bomba centrífuga.



Nota: La imagen muestra una bomba centrífuga de acero inoxidable utilizada en la industria alimenticia. (Gargil, 2021)

Figura 7

Curvas de desempeño.



Nota: La imagen muestra las curvas de desempeño, en función del caudal impulsado en (Lt/s) y de la altura H en (m) (Árauz y Montezuma, 2020)

6.7.2. Bombas volumétricas

Estas bombas tienen acción de bombeo suave, manejan líquidos de baja y alta viscosidad, constan de dos rotores que giran sincronizadamente sin tocarse, los espacios entre ellos se llenan continuamente y transportan el producto de la succión hacia la impulsión, desplazan un volumen fijo y tienen un costo estimado de \$300,00 USD.

Figura 8

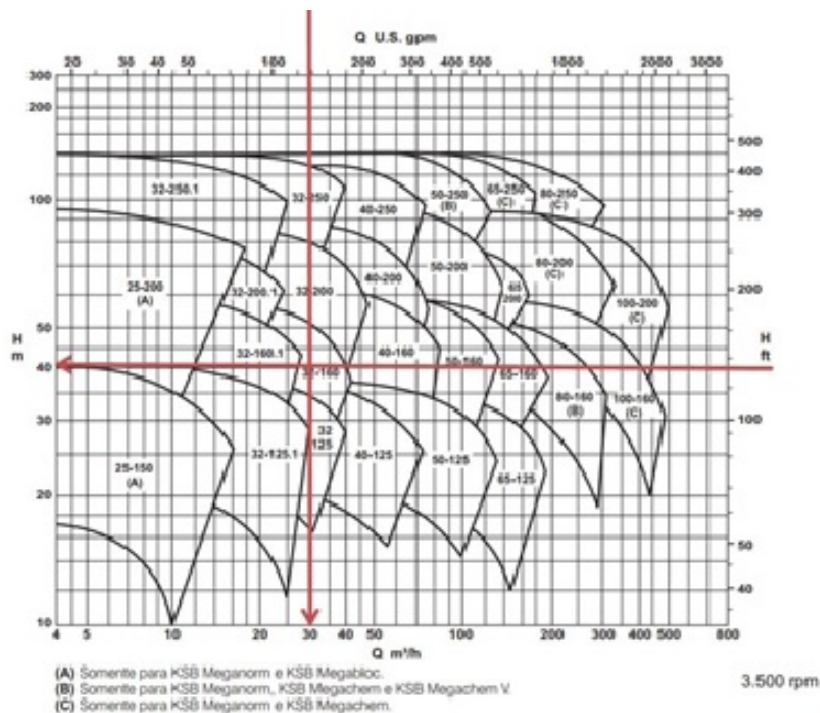
Bomba Volumétrica.



Nota: La imagen muestra una bomba centrífuga de acero inoxidable con dos lóbulos, de grado alimenticio. (Gargil, 2021)

Figura 9

Diagrama de codificación compuesta.



Nota: La imagen muestra una curva de respuesta de una bomba centrífuga, resaltando la relación entre la presión y el caudal de la bomba para diferentes velocidades de rotación. (Briño, 2012)

6.8. Caudalímetros y medición de flujo

Los también conocidos como contadores empleados en la medición del volumen o caudal volumétrico de líquidos, existen diferentes tipos de manera comercial y entre estos está el caudalímetro electromagnético, que está basado en la ley de Faraday.

Tabla 4

Caudalímetros y medición de flujo, parte I

Tipos	Especificación
Tubo venturi	Aptos para medición de caudal de líquidos, gases y vapor de agua, Exactitud $\leq \pm 0,50\%$ del caudal efectivo, Repetibilidad de la medición 0,101%, Pérdida mínima de presión en la familia de los elementos de flujo primario, Calibración previa a petición de cliente y como costo estimado tiene un valor de \$ 100,00 USD.
Medidor de área variable	Un medidor de flujo de área variable es un dispositivo simple y versátil que mide el flujo de líquidos, gases y vapor. El medidor funciona permitiendo que el área de la sección transversal del dispositivo varíe en respuesta al flujo, El flujo sube un flotador en un tubo, y así se aumenta el área de paso del fluido a través del medidor. La altura del flotador es directamente proporcional al caudal y como costo estimado tiene un valor de \$500,00 USD.
Medidor de flujo de turbina	Múltiples rangos de flujo, Proporciona la tasa de flujo y la totalización del volumen localmente, Fabricado en materiales robustos de construcción para un alto rendimiento en entornos agresivos, Fácil instalación y mantenimiento, Amplia variedad de conexiones de proceso y como costo estimado tiene un valor \$150,00 USD

Nota : Especificaciones de algunos medidores de caudal encontrados en la industria (Creus S., 2011)

Tabla 5*Caudalímetros y medición de flujo, parte II*

Tipos	Especificación
Rotámetro	Un rotámetro consiste en un tubo cónico, típicamente hecho de vidrio con un 'flotador' (un peso conformado, hecho de aluminio anodizado o de cerámica), el cual es empujado hacia arriba por la fuerza de arrastre del flujo y hacia abajo por la gravedad y como costo estimado tiene un valor de \$50.00 USD
Medidor de flujo de masa	Recibe información de densidad, rapidez, temperatura, presión y con computadora y lcd que transmite la información. Equipo demasiado costoso y como costo estimado tiene un valor de \$1000.00 USD
Medidor de desplazamiento positivo	El principio de operación de estos medidores es giratorio y de desplazamiento positivo. La carcasa es labrada a precisión y contiene un rotor que gira sobre rodamientos de bolitas, e incluye álabes distribuidos en forma pareja y como costo estimado tiene un valor de \$500.00 USD

Nota: Especificaciones de algunos medidores de caudal encontrados en la industria (Creus S., 2011)

6.9. Limpieza y Sanitización en la industria láctea

- **Limpieza:** corresponde a la eliminación de la suciedad visible e invisible, pudiendo diferenciarse entre materia orgánica (proteína e hidratos de carbono) e inorgánica (adherida a las superficies)
- **Desinfección/Sanitización:** es la destrucción de los microorganismos presentes en las superficies, caracterizada por la reducción de la carga microbiológica de las mismas.

La limpieza de los equipos de procesamiento de leche es una de las medidas más importantes para garantizar la calidad e inocuidad del producto final. Una limpieza adecuada ayuda a eliminar los microorganismos y las impurezas que pueden contaminar la leche, lo que puede causar enfermedades transmitidas por los alimentos.

6.9.1. Tipos de limpieza en la industria Láctea

Se usan en general dos métodos para remover impurezas:

- **CIP:** Limpieza de partes completas de una planta o de circuitos de tubería, realizada sin desmontar o abrir el equipo y con poca o ninguna intervención manual del operador (Engormix, 2011).
- **COP:** Los artículos a limpiar se colocan en una máquina lavadora, o se dejan «en posición» y se bombean detergentes y agentes de limpieza a través de los mismos (Engormix, 2011).

6.9.2. Definiciones implicadas en los sistemas de limpieza

Para avanzar a los sistemas de limpieza, es necesario previamente que el lector conozca algunas definiciones correspondientes a operaciones, componentes y escenarios que son considerados como elementos básicos o condicionantes.

- **Impurezas:** cualquier materia indeseable, incluyendo residuos de producto, que contenga o no microorganismos.(Engormix, 2011)
- **Remoción:** efectos de limpieza mecánico, químico y térmico.(Engormix, 2011)
- **Detergentes:** ejemplos de los agentes limpieza usados son la soda cáustica (NaOH), el ácido nítrico (HNO_3) o el ácido fosfórico (H_3PO_4). (Engormix, 2011)

Todos los detergentes usados para limpiar en los procedimientos CIP/COP son muy corrosivos en los materiales metálicos, pueden incluso causar la descomposición del plástico y de las gomas.(Engormix, 2011)

- **Superficie Físicamente limpia:** corresponde a aquella libre de impurezas visibles.
- **Superficie Químicamente limpia:** corresponde a aquella que está libre de cualquier traza de residuos químicos.(Engormix, 2011)
- **Superficie Microbiológicamente limpia:** se encuentra libre de microorganismos.
- **Superficie de contacto con el producto:** Toda superficie en el camino propuesto del producto durante el proceso de la producción y superficies desde donde residuos debidos a salpicaduras puedan volver al producto.(Engormix, 2011)

- **Tipos de suciedades:**

Azúcar: Soluble en agua, se vuelve más difícil de remover cuando se carameliza a altas temperaturas durante la producción.(Engormix, 2011)

Proteína: Insoluble en agua. Es soluble en álcalis y algo soluble en ácidos, cuando se calienta la proteína se desnaturaliza, es decir, ciertos enlaces químicos en la molécula de proteína se rompen, cambiando la estructura de la misma.(Engormix, 2011)

Grasa: Insoluble en agua. Soluble en álcalis. Muy difícil de remover, más cuando se calienta porque polimeriza.(Engormix, 2011)

Sales minerales: están en solución en el suero de la leche o en compuestos de la caseína. Las más importantes son las de calcio, sodio, potasio y magnesio. Su solubilidad en agua varía. La mayoría es soluble en ácidos, variando desde fáciles a difíciles de remover. Son por lo general fáciles de eliminar en caliente.(Engormix, 2011)

- **Mediciones de control en las soluciones de limpieza:**

Concentración: determina efectividad de la limpieza, se realiza a través de la medición del pH en primera instancia, puede dar resultados erróneos cuando el líquido está contaminado, para compensar se puede usar titulación o un conductímetro para determinar la concentración de los líquidos de limpieza.

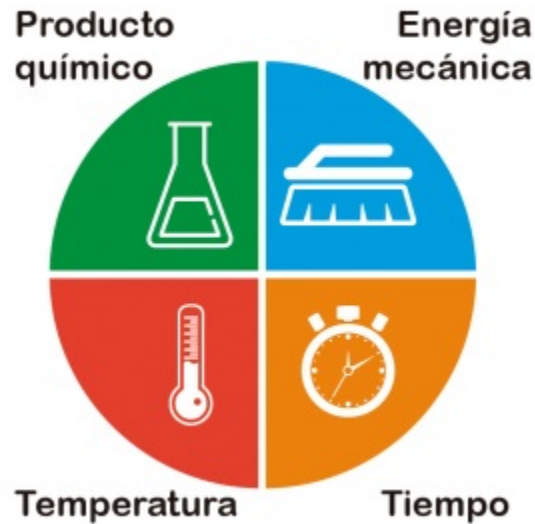
Conductividad: se calcula midiendo la intensidad de la corriente que fluye a través de un fluido cuando está sometido a un voltaje de referencia conocido (Engormix, 2011). La señal se convierte en información digital y luego es comparada contra los valores de temperatura y de calibración, dado a que la temperatura influye sobre los valores de conductividad, para un buen funcionamiento el conductímetro debe tener una compensación automática de temperatura.

6.9.3. Sistema CIP

El sistema CIP del acrónimo Cleaning in Place (Limpieza in situ), se podría definir como la limpieza realizada en el interior de los circuitos de las plantas de producción, sin desmontar o cambiar el estado de funcionamiento para asegurar la consistencia y sostenibilidad (Engormix, 2011). Para llevar a cabo el CIP es necesario aplicar ciertos parámetros para obtener una buena limpieza y desinfección, dichos parámetros vienen establecidos por el círculo de Sinner, mostrado a continuación.

Figura 10

Círculo Sinner.



Nota: La imagen muestra el diagrama del círculo de Sinner, un modelo conceptual utilizado para describir los factores que influyen en la limpieza de superficies. (Betelgeux., 2019)

A partir de la descripción gráfica del círculo de Sinner, se recogen pautas que determinan el protocolo de limpieza CIP, el mismo se resume en los pasos principales, sin especificar aún los tiempos o temperaturas requeridos:

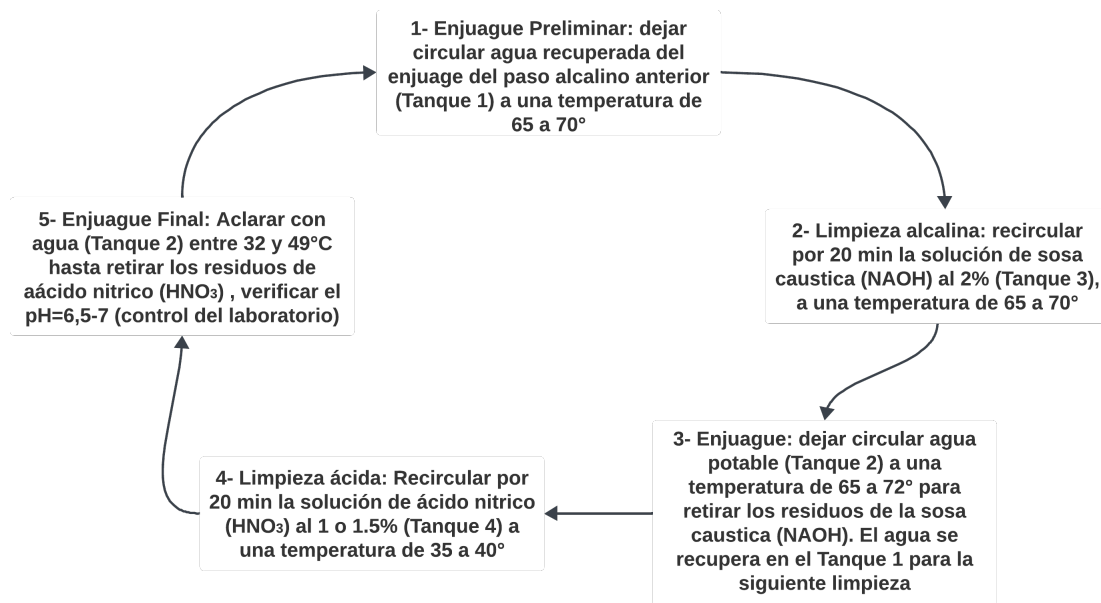
1. **Prelavado:** Se utiliza una solución de agua y detergente para eliminar la suciedad y las partículas grandes.
2. **Limpieza alcalina:** Se utiliza una solución alcalina para eliminar las grasas, las proteínas y otros residuos.
3. **Enjuague:** Se utiliza agua potable para eliminar los residuos de la solución alcalina.
4. **Limpieza ácida:** Se utiliza una solución ácida para eliminar los minerales que pueden incrustarse en el equipo.
5. **Enjuague final:** Se utiliza agua potable para eliminar los residuos de la solución ácida.

El sistema C.I.P. es una forma eficiente y efectiva de limpiar los equipos de procesamiento de leche. Sin embargo, es importante que el protocolo se realice correctamente para garantizar

la eficacia de la limpieza. Entre los aspectos más relevantes a considerar al momento de implementar el protocolo se tiene que la solución de prelavado debe ser lo suficientemente alcalina para eliminar la suciedad y las partículas grandes. Al mismo tiempo que la solución alcalina debe ser lo suficientemente fuerte para eliminar las grasas, las proteínas y otros residuos, por lo que debe garantizar que el enjuague sea completo para eliminar los residuos de la solución alcalina. Seguidamente la solución ácida debe ser lo suficientemente fuerte para eliminar los minerales que pueden incrustarse en el equipo y cuyo enjuague final debe ser completo para eliminar los residuos de la solución. El personal que realiza la limpieza de los equipos debe estar capacitado y tener experiencia en este procedimiento, debe utilizar los equipos de protección personal adecuados para evitar contaminación y velar por la limpieza regular y adecuada de los equipos de procesamiento de leche para garantizar la seguridad alimentaria. Según las normas NTE INEN: 1108; se muestra en el diagrama expresado en la siguiente ilustración (Maldonado, 2008), el procedimiento general de la limpieza CIP.

Figura 11

normas NTE INEN: 1108



Nota: La imagen muestra el procedimiento de la limpieza CIP. (Maldonado, 2008)

La siguiente ilustración muestra el procedimiento general de limpieza CIP sobre una manguera empleada en la industria Láctea.

Figura 12

Limpieza de Mangueras.



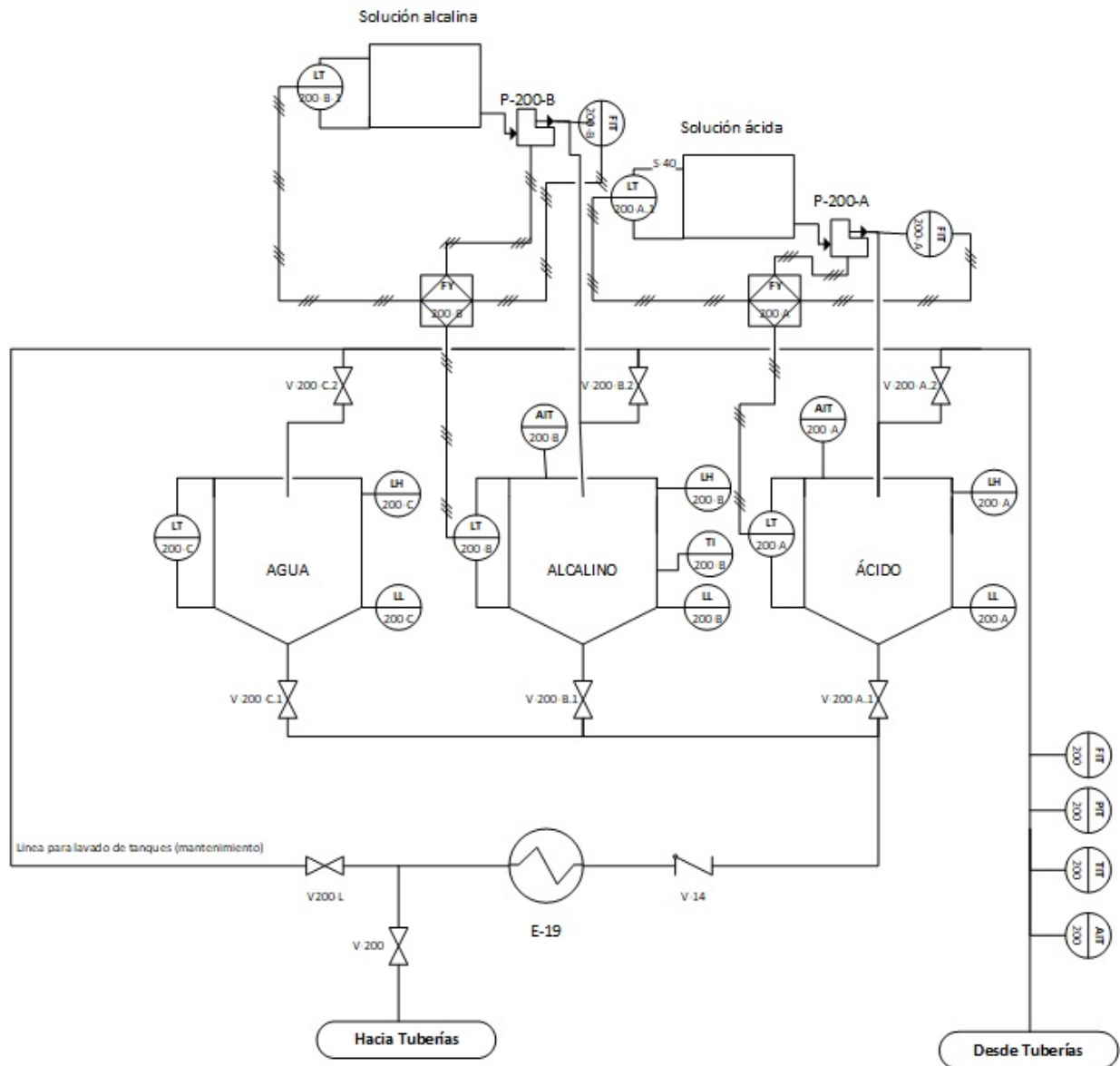
Nota: : La imagen muestra el proceso de limpieza de mangueras utilizando vapor y soda cáustica (Kolstad, 2019)

6.9.4. Tipos de sistemas de limpieza CIP

Son sistemas de limpieza automatizados que permiten la limpieza y desinfección de equipos industriales sin desmontarlos, son ampliamente utilizados en la industria láctea para limpiar equipos de procesamiento de leche, como pasteurizadores, tanques de almacenamiento y tuberías. Existen dos tipos principales de sistemas CIP, cerrados y abiertos. En el primero, las soluciones de limpieza y enjuague se mueven a través del equipo en un circuito cerrado, lo que ayuda a garantizar que las soluciones se utilicen de manera eficiente y que no se contaminen con el medio ambiente. Por otro lado, en los sistemas abiertos, las soluciones de limpieza y enjuague se descargan al medio ambiente, por lo que se consideran menos eficiente que los sistemas de circuito cerrado, pero si más económicos. Principalmente, los sistemas CIP se componen de una fuente de agua potable para las soluciones de limpieza y enjuague. Un juego de bombas que impulsan las soluciones de limpieza y enjuague a través del equipo. Las válvulas que controlan el flujo de las soluciones. Tanques de almacenamiento y sensores que monitorean el flujo, la temperatura y el pH de las soluciones de limpieza y enjuague.

Figura 13

Diagrama de proceso de un sistema CIP.



Nota: La imagen muestra el diagrama de proceso de un sistema CIP (Electroinstalador, 2024)

Tabla 6*Instrumentos de medición y control de variables en el CIP*

Variable	Código		Descripción
Temperatura	TI-200-B	y	Puntos de medición empleados para garantizar las temperaturas correspondientes de cada ciclo
	TIT-200		
Nivel	LT-200-X		Empleado para garantizar que los tanques siempre dispongan de ácido, alcalino y agua para los ciclos de limpieza
Nivel	LT-200B.1	y	Empleado para garantizar que los tanques siempre dispongan de solución ácida y alcalina para garantizar el ph requerido en los ciclos de limpieza
	LT-200A.1		
Nivel mínimo	LL-200.X		Empleado para evitar que las bombas intenten extraer en vacío
Nivel máximo	LH-200.X		Evita que el tanque desborde al hacer el proceso de recirculación
Caudal	FIT-200	y	Para la dosificación en mezcla en tanque y para controlar la velocidad de la mezcla al ingresar al intercambiador de calor, con el objeto de que se pueda mantener la temperatura deseada
	FIT-200.X		
Análisis	AIT-200	y	Para la verificación del PH alcalino y de la mezcla de limpieza
	AIT-200.B		
Presión	PIT-200		Empleada en el control de presión del ingreso de líquidos al tanque de ácido y al tanque alcalino

Nota: variables determinantes de la operación de la limpieza CIP (Electroinstalador, 2024)

6.9.5. Características de un sistema CIP

El diseño de un sistema CIP debe tener en cuenta las siguientes características:

- **Aislamiento seguro:** El sistema debe contar con un método seguro para aislar las líneas y equipos de proceso del producto, de modo que los productos químicos del CIP no puedan contaminarlo. Esto se puede realizar mediante válvulas de corte, compuertas o válvulas de retención. Las válvulas de corte son las más utilizadas, porque facilitan su instalación y son sencillas de operar, sin embargo, no son tan seguras como las compuertas o las válvulas de retención. Las compuertas son más seguras que las válvulas de corte, pero son más difíciles de instalar y de operar. Las válvulas de retención son empleadas para evitar que la solución CIP fluya hacia atrás en las líneas de proceso.

- **Diseño higiénico:** El sistema debe estar diseñado de acuerdo con los principios de la ingeniería higiénica, que se basan en la prevención de la acumulación de suciedad y la contaminación. Esto incluye características como:

Superficies lisas, redondeadas y sin juntas: esto facilita la limpieza y evita la acumulación de residuos.

- **Drenaje adecuado:** esto permite que la solución CIP fluya libremente y evite la acumulación de residuos.

- **Facilidad de limpieza:** el sistema debe ser fácil de limpiar para evitar la acumulación de suciedad y la contaminación.

- **Materiales adecuados:** El acero inoxidable es el material por excelencia para las superficies de contacto del producto, por su resistencia a la corrosión y a la acumulación de residuos. Otros materiales que se pueden utilizar son el cobre y el plástico.

- **Flujo adecuado:** El sistema debe proporcionar un flujo adecuado de la solución CIP a todas las superficies de contacto del producto, para garantizar una limpieza efectiva. El flujo debe ser suficiente para mover los residuos y evitar que se acumulen. En general, el flujo debe ser de al menos 1 metro por segundo. Ausencia de líneas auxiliares y puntos muertos El sistema no debe tener líneas auxiliares o puntos que no se limpien, ya que pueden ser un foco de contaminación. Las líneas auxiliares son aquellas que no se utilizan para el proceso del producto, pero que pueden estar interconectadas con las líneas de proceso. Los puntos muertos son aquellos lugares donde la solución CIP puede estancarse y acumular residuos. Para evitar la contaminación cruzada, las líneas auxiliares y los puntos muertos deben limpiarse adecuadamente. Esto se puede realizar mediante un ciclo de limpieza independiente.

- **Inspección visual:** El sistema debe permitir la inspección visual de todas las partes críticas de la línea, para verificar que se han limpiado adecuadamente. Esto se puede realizar mediante ventanas o cámaras de inspección. Las ventanas permiten a los operadores verificar que se han limpiado las superficies críticas de la línea. Las cámaras de inspección permiten una inspección más detallada.
- **Instrumentos y puntos de muestreo:** El sistema debe contar con instrumentos y puntos para la toma de muestras en puntos del circuito de limpieza, para controlar los parámetros de operación y verificar la efectividad de la limpieza. Los parámetros que se pueden controlar incluyen:

Temperatura, registrador calibrado al Rango de medición 25-80°C

pH, pHmetro calibrado para su uso dentro del rango 5-8

Conductividad, conductímetro calibrado para el rango 5-150 mS

Los puntos de muestreo se utilizan para tomar muestras de la solución CIP para su análisis.

6.9.6. Operacionalización del CIP

El siguiente apartado hace referencia al lector de la forma de operar las variables que son consideradas como críticas y que definen el correcto funcionamiento de un sistema CIP, en la siguiente ilustración, se puede tener un panorama general de las mismas, mientras que en los siguientes apartados se describe el tratamiento de estas a fondo.

Tabla 7*Operacionalización del CIP*

Variable	Descripción
Tiempo	Tiempo definido para cada paso del proceso de Limpieza CIP
Temperatura	Rango de Temperatura requerido para las soluciones de lavado y la desinfección
Turbulencia	Caudal requerido durante la circulación de soluciones de lavado y desinfectante
Titulación	Rango de concentraciones químicas efectivas para el paso CIP
Tecnología	Equipo u objeto para limpiar, estación CIP, diseño higiénico
Entrenamiento	programa de capacitación documentado para todos los implicados en las actividades de limpieza

Nota: variables determinantes de la operación de la limpieza CIP (Maldonado, 2008)

6.9.6.1. Tiempo de lavado de los equipos

En la tabla de operacionalización de variables, para limpieza de camiones cisterna, los tiempos de lavado alcalino y ácido son variables importantes para controlar y garantizar la eficacia de la limpieza. El tiempo de duración del ciclo de lavado se define en conjunto con el departamento de producción de la empresa del sector lácteo. Este tiempo debe ser suficiente para garantizar la eliminación de todos los residuos y microorganismos de las superficies de contacto del producto.(Maldonado, 2008) Para establecer el tiempo de duración del ciclo de lavado, se prepararon una serie de recetas de limpieza, las cuales fueron validadas en la empresa. De esta manera, se establecieron los ciclos y la duración de los mismos para el lavado CIP (Maldonado, 2008). Un pospuesta de tiempos de lavados usualmente implementada en la industria es la mostrada en la siguiente imagen.

Tabla 8*Lavado de camiones Cisterna.*

Paso	Descripción	Tiempo (seg)	Ciclos
1	Pre enjuague	10	alcalino
2	Empuje Soda	60	
3	Desalojo del agua del sistema	2	alcalino
4	Limpieza soda retorno tanque de neutralización	200	
5	Limpieza con soda recirculación	300	alcalino
6	Empuje agua →soda	60	Enjuague intermedio
7	Desalojo soda del sistema	2	Enjuague intermedio
8	Limpieza agua retorno tanque soda	200	Enjuague intermedio
9	Limpieza agua retorno tanque neutralización	300	Enjuague intermedio
10	Empuje ácido →agua	60	ácido
11	Desalojo de agua del sistema	2	
12	Limpieza ácido retorno tanque neutralización	160	ácido
13	Limpieza con ácido recirculación	250	
14	Empuje agua →ácido	60	Enjuague final
15	Desalojo ácido del sistema	2	Enjuague Final
16	Limpieza agua retorno tanque ácido	160	Enjuague Final
17	Limpieza con agua final retorno tanque agua usada	250	Enjuague Final

Nota: tiempos requeridos por la limpieza CIP en camiones cisterna (Elaboración propia)

6.9.6.2. Temperatura de operación

La temperatura de la solución CIP es una variable importante a controlar para garantizar la eficacia de la limpieza, se mide con termómetros digitales instalados en la línea desde la salida de los tanques de la estación hasta el punto de llegada de la zona de lavado. Los rangos establecidos por la empresa para la temperatura de la solución CIP son los siguientes:

- Líquido alcalino: 60-80 °C
- Líquido ácido: 50-60 °C

La siguiente tabla muestra los rangos de temperatura necesarios para garantizar la eliminación de todos los residuos y microorganismos de las superficies de contacto del producto.

Tabla 9

Rangos de temperatura

Tanques	Temperatura
Agua	19-20°C
Soda	70-80°C
Ácido	60-70°C

Nota: La tabla muestra los rangos de temperatura requeridos por las diferentes soluciones empleadas en la limpieza CIP en camiones cisterna (Maldonado, 2008).

6.9.6.3. Turbulencia

La turbulencia es un factor importante en los sistemas CIP, ya que ayuda a eliminar los residuos y los microorganismos de las superficies de contacto del producto. En los sistemas CIP, la solución de limpieza se bombea a través de las líneas y equipos de proceso. La turbulencia ayuda a mover la solución de limpieza por las superficies, lo que ayuda a eliminar los residuos. La turbulencia se puede crear de varias maneras, incluyendo:

- Aumento de la velocidad del flujo: si aumenta la velocidad del flujo, aumenta la turbulencia.
- Uso de boquillas de pulverización: Las boquillas de pulverización crean una corriente de solución de limpieza que ayuda a crear turbulencia.

- Uso de vibraciones: Las vibraciones pueden ayudar a crear turbulencia en los equipos de proceso

El grado de turbulencia requerido en un sistema CIP depende de varios factores, incluyendo:

- Tipo de residuos que se deben eliminar: Los más difíciles de eliminar requieren más turbulencia.
- Las dimensiones de las superficies a limpiar: Las superficies más grandes requieren más turbulencia.

Es importante tener en cuenta que la turbulencia excesiva puede dañar las superficies de contacto del producto. Por lo tanto, es importante ajustar el grado de turbulencia para que sea suficiente para eliminar los residuos sin dañar las superficies.

6.9.6.4. Titulación

Es un procedimiento que se emplea en química para determinar la molaridad de un ácido o una base, a partir de una reacción química que se establece entre un volumen conocido de una solución de concentración desconocida y un volumen conocido de una solución con una concentración conocida (Instruments, 2024) Entonces, en función de la definición anterior, el cálculo de la cantidad de soda caustica al 50% de concentración y ácido fosfórico al 78% de concentración, que se debe agregar a los respectivos tanques para alcanzar la concentración final requerida en cada etapa de ciclo de lavado, viene dada por la siguiente ecuación:

$$C_a = \frac{(C_r - C_i)\% * VolTq}{\%C_q} * 100 \quad (1)$$

Donde:

- C_a = Cantidad a agregar de químico sin diluir.
- C_r = Concentración requerida en el tanque CIP.
- C_i = Concentración inicial de muestreo en el tanque CIP.
- C_q = Concentración del químico sin diluir.
- $VolTq$ = volumen del tanque CIP.

Después de cada limpieza, se tiene que hacer un análisis a las soluciones de los tanques de soda caustica y ácido fosfórico, y éstas deben estar dentro del rango rescrito en la siguiente tabla:

Tabla 10

Concentraciones Soda Caústica y Ácido Fosfórico.

Sustancias ácidas	Concentraciones
Sosa caustica	2,0 al 2,5 %
Ácido Fosfórico	0,5 al 1,0 %

Nota: concentraciones esperadas de la sosa caústica y ácido Fosfórico. (Maldonado, 2008)

Las siguientes tablas muestran las cantidades en kilogramos de sosa caustica y ácido fosfórico que deben agregarse a cada tanque para alcanzar la concentración estándar requeridas en cada etapa de ciclo de lavado. Esta tabla se calcula utilizando la ecuación anterior.

Tabla 11*Concentración Soda Caústica.*

Tabla para reposición de soda caustica												
Conductividad	Concentración Estandar	Concentraciones en Tanque CIP (%)										
		1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00	2,10	2,20	2,30	2,40	2,50
65mS	1,50 %											
72mS	1,60 %	20										
77mS	1,70 %	40	20									
81mS	1,80 %	60	40	20								
85mS	1,90 %	80	60	40	20							
90mS	2,00 %	100	80	60	40	20						
95mS	2,10 %	120	100	80	60	40	20					
100mS	2,20 %	140	120	100	80	60	40	20				
105mS	2,30 %	160	140	120	100	80	60	40	20			
110mS	2,40 %	180	160	140	120	100	80	60	40	20		
115mS	2,50 %	200	180	160	140	120	100	80	60	40	20	

Nota: conductuividad en función de diferentes concentraciones de la sosa caustica. (Maldonado, 2008)

Tabla 12*Reposición de ácido fosfórico al 78 %.*

Tabla para reposición de ácido fosfórico							
		Concentraciones en Tanque CIP (%)					
Conductividad	Concentración Estandar	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
8mS	0,50%						
10mS	0,60%	12					
12mS	0,70%	24	12				
13mS	0,80%	35	24	12			
15mS	0,90%	47	35	24	12		
18mS	1,00%	59	47	35	24	12	

Nota: conductividad en función de diferentes concentraciones del Ácido Fosfórico. (Maldonado, 2008)

6.9.7. Circuitos CIP

Los circuitos CIP cuentan con tres factores principales para determinar si un equipo es apto para utilizar el sistema en mención (Martínez, 2019).

- Los residuos dejados en el sistema por el producto deben ser iguales para que los mismos detergentes y desinfectantes puedan ser utilizados.
- La superficie de los materiales que conforman el equipo o sistema deben ser los mismos.
- Todos los componentes en el sistema deben estar disponibles para lavarse al mismo tiempo.

6.9.8. Programas CIP

La limpieza CIP con tuberías y tanques deben comprender las siguientes etapas:

- Enjuague con agua caliente, durante 3 minutos.
- Circulación de un detergente alcalino, durante 10 minutos.
- Enjuague con agua caliente, durante 3 minutos.
- Desinfección con agua caliente (90 - 95°C) durante 5 minutos.
- Enfriamiento con agua fría.

Otro proceso es:

- Enjuague con agua fresca.
- Circulación de solución cáustica.
- Enjuague con agua fresca.
- Circulación de solución ácida.
- Enjuague con agua fresca.

Al final el proceso de producción de leche líquida se puede sintetizar en el siguiente diagrama de flujo de proceso, del cual las etapas de interés abordadas en este trabajo corresponden a recepción, almacenamiento y la intermedia de transporte ubicada antes de clarificación, que corresponde al preámbulo de las etapas de producción a nivel industrial de la leche líquida llevada a los consumidores a través de diferentes cadenas de suministro.

Figura 14

De la Leche Cruda a la Leche Líquida



Nota: Se observa un diagrama del proceso de elaboración de la leche desde el productor hasta el consumidor (FAO., 2023).

7. Marco metodológico

En este capítulo, se realiza la caracterización de un punto de acopio crítico, los cálculos correspondientes al sistema de tuberías de transporte, descripción de materiales requeridos, cálculos hidráulicos y de pérdidas, potencia de bombeo para el transporte y para el sistema de lavado, así como también selección de instrumentos, sensores y válvulas empleadas para el control local de variables, dejando abierta la propuesta a futuro para implementación de un sistema de adquisición de datos.

7.1. Metodología de la Investigación

La presente investigación tiene un carácter aplicativo debido a que la propuesta va a solucionar el problema planteado, tiene un enfoque cuantitativo pues en el diseño de un sistema automatizado de transporte de lácteos se tiene que identificar los datos como dimensiones de cada motor, capacidad de caudal, diámetro de tubería, cálculo de Reynolds para el caudal y dimensiones o capacidad del tanquero recolector. Todos estos factores están relacionados con el diseño del sistema de transporte de lácteos. Así también, es de tipo aplicada debido a que se aplicaran conocimientos mecatrónicos para el diseño con la finalidad de beneficiar al sector

ganadero de las zonas rurales. No obstante, el diseño corresponde al de tipo no experimental, razón por la que no se puede manipular físicamente las variables en el equipo. Lo cual se tomará en cuenta varios factores de diseño de un prototipo funcional que pueda ser construido posteriormente. Tendrá un enfoque de carácter exploratorio ya que partimos del planteamiento de un problema. donde realizaremos el estudio del arte y condiciones existentes para plantear una solución al problema, y con carácter descriptivo representado por el funcionamiento del sistema en simulaciones.

Tabla 13

Investigación de Enfoque

INVESTIGACIÓN DE ENFOQUE	ALCANCES
ENFOQUE: CUANTITATIVO	EXPLORATORIO
Análisis de datos: dimensiones de cada motor, caudal, diámetro de la tubería, cálculo de reynolds para el caudal.	Deducir los factores que interfieren en el proceso de diseño de un vehículo aéreo tripulado.
DE TIPO: APLICADA	DESCRIPTIVO
Aplicación de los conocimientos mecatrónicos y bases teóricas para definir con todos los parámetros del exploratorio un buen diseño que satisfaga necesidad a la cual está enfocado en el proyecto	Aplicación de conocimientos mecatrónicos y bases teóricas en el diseño.
CON DISEÑO: NO EXPERIMENTAL	
Debido a que no se pueden manipular las variables sobre un equipo.	

Nota: En esta tabla muestra tanto la investigación de enfoque como el alcance (Elaboración propia)

7.2. Metodología del proceso

El proceso metodológico se desarrollará en las siguientes etapas:

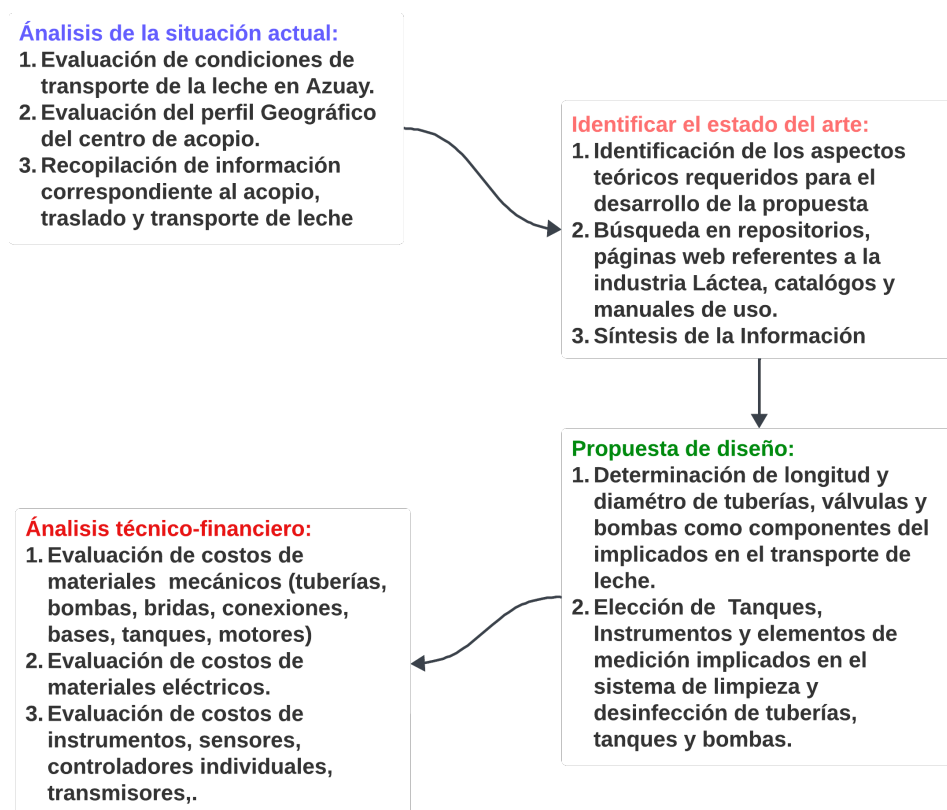
A. Se analizará la situación actual del área investigativa, materiales y manufactura del

sector, esto permitirá definir las variables cuantitativas como qué tipo de manufactura se va a utilizar, que tipo de materiales se van a usar de acuerdo con disposición en el área local.

- B. Se procederá a realizar una revisión del estado del arte a fin de determinar cuáles son los sistemas, para luego establecer cuales se pueden utilizar en función a los requerimientos del contexto analizado.
- C. Se propondrá un diseño de acuerdo con los parámetros determinados en la necesidad, con el fin de garantizar un prototipo funcional que permita a futuro su construcción.
- D. Se elaborará un análisis técnico-financiero con el propósito de definir la magnitud de la inversión.

Figura 15

Metodología del proceso y ciclo de vida



Nota: Se muestra un diagrama de flujo general del proceso de diseño. (Guzmán y Guitierrez, 2016)

7.3. Aplicación de la Técnica

En esta sección se conocerán los detalles operacionales de diseño del sistema planteado y se delimitaran los elementos que lo componen.

7.3.1. Desarrollo de Problema.

La leche es un alimento esencial para la dieta humana, pero su transporte desde los potreros hasta los tranqueros en la zona de Azuay presenta desafíos en cuanto a la eficiencia, seguridad y trazabilidad. En esta sección se propone el diseño de un sistema automatizado de transporte de leche para mejorar la calidad y seguridad del producto final.

7.3.1.1. Delimitación de parámetros.

De acuerdo el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), en la provincia de Azuay existen aproximadamente 12000 productores de leche, los cuales representan el 10% del total de los productores de leche a nivel nacional. La producción de leche en Azuay se concentra en las zonas rurales de la provincia, en particular en los cantones de Cuenca, Gualaceo, Pucará y Nabón. La producción de leche en Azuay es una actividad importante para la economía de la provincia, ya que genera empleo y divisas, por lo que su paralización o retraso puede acarrear grandes pérdidas económicas tanto para la región como para el negocio. El MAG estima que la producción de leche en Azuay alcanzó los 561000 litros en 2022. Esto equivale a una producción de 10788,50 litros por semana. Del total mencionado el 26,2% es producido en el cantón Cuenca y 6,5% en el cantón Pucará, representando juntos el 32,7% de la producción de leche en la región. Considerando este dato, se establece que el punto de acopio de leche a ser intervenido y mejorado, debe de tener una capacidad semanal de almacenamiento y transporte de por lo menos 5000 Lts. de leche cruda. Al mismo tiempo, se puede considerar que las definiciones básicas de este proyecto, deben estar pensadas para una población de bajos recursos y cuya inversión debe estar correctamente estructurada para evitar mayores pérdidas y aprovechar completamente los escasos recursos de los que se dispone. Es por ello que, debido a limitaciones presupuestarias, se requiere que la longitud máxima del sistema de transporte de leche que se diseñe debe estar contenido en un radio de 2Km. Distancia suficiente para acortar el tiempo de entrega de la leche al camión y como una primera etapa de evaluación económica. Del mismo modo, el sistema no estará presurizado ni sometido a vacío por lo que su diseño será enfocado al almacenamiento y transporte de la leche aprovechando la elevación del terreno como fuente principal de energía para el flujo del líquido y mediante la utilización de bombas impulsoras de baja presión y alto caudal para el apoyo del sistema y

la implementación del lavado de las mangueras entre servicios. La idea principal se centra en diseñar un sistema confiable, de bajo impacto económico pero cuyas repercusiones técnicas sean relevantes. Desde un punto de vista técnico, los centros de acopio más grandes de leche de Cuenca y Pucará son los dos sitios considerados para la implementación de este proyecto, ambos con gran relevancia en el sistema, pero cada uno con sus respectivas características tanto estratégicas, geográficas y poblacionales que los hacen únicos. En la ilustración 16 se puede observar la ubicación relativa entre Pucará y Cuenca, en la que se señalan los centros de acopio de leche de La Asociación Agrícola Ganadera de Pucará y el Centro de Acopio de Leche Cruda Nutri en Cuenca (Yanuncay). La distancia en carretera entre ambos centros de acopio señalados es de 161 km.

La ubicación geográfica del centro de acopio Nutri con respecto a Yanuncay lo hace mucho más factible ya que es posible entregar o descargar la leche lo más cercano al pueblo en algún punto de la ruta sin los que camiones salgan del camino, lo que acortaría los tiempos de entrega de la leche asegurando la inocuidad de la misma durante el proceso. En la ilustración 16 puede observarse el radio de acción de 2km propuesto como límite para el inicio del proyecto y su comparación en tamaño con la extensión de la provincia de Azuay.

Figura 16

Ubicación Relativa Pucará y Cuenca.



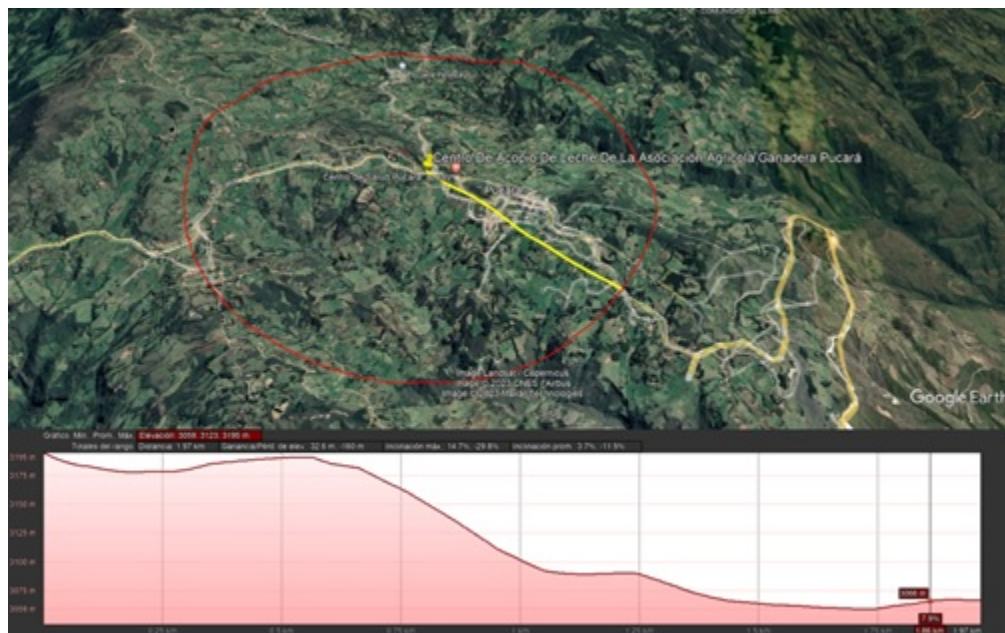
Nota: La imagen muestra la distancia relativa entre los principales centros de acopio de leche cruda de la provincia de Azuay hasta Cuenca. (Google earth pro)

7.3.1.1.1. Selección del centro de acopio.

Como se mencionó anteriormente, la selección del centro de acopio dependerá de múltiples factores que deberán ser considerados, como lo son, la ubicación relativa al centro más poblado, la cantidad de leche acopiada semanal, pero los más resaltantes desde el punto de vista técnico son los relacionados con la geografía de cada uno. En la ilustración 14 se observa el centro de acopio de Pucará (en el centro de la circunferencia roja) de la cual parte en línea recta y a ras del terreno (línea amarilla) el tendido propuesto de tubería hasta un punto en la carretera de penetración a Pucará que no hace necesario que el camión recolector sortee las curvas del camino y se reduzca el tiempo de entrega de la leche. El perfil de elevación a lo largo de la línea amarilla, se muestra en la parte inferior de la ilustración 17, el cual se desplaza desde el centro de acopio hasta 2km en línea recta más allá. En el se puede observar que el centro de acopio se encuentra a 3195 msnm mientras que el punto de entrega lo tenemos a 3067 msnm (128m más abajo) con una pendiente máxima de inclinación negativa del 26.4%

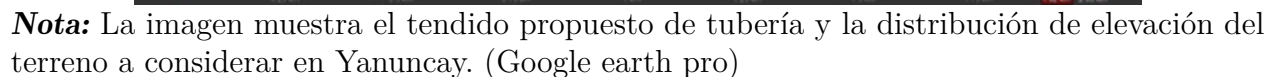
Figura 17

Ubicación del punto de entrega de leche propuesto en Pucará y su perfil de elevación.



Nota: La imagen muestra el tendido propuesto de tubería y la distribución de elevación del terreno a considerar en Pucará. (Google earth pro)

Ubicación del punto de entrega de leche propuesto en Yanuncay y su perfil de elevación.



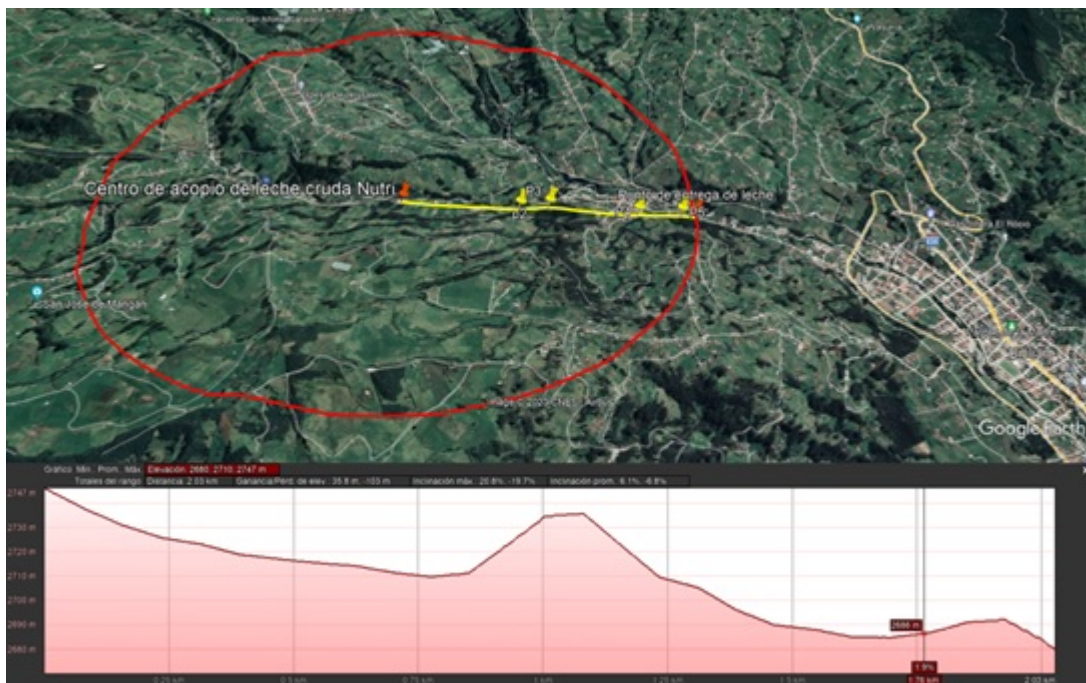
Desde este punto de vista, se ha escogido el centro de acopio de Yanuncay ya que su perfil de elevación demuestra que todos los puntos en el camino están por debajo del mismo, lo que permite un mejor aprovechamiento de la energía potencia del sistema, utilizando la gravedad para el transporte del fluido sin necesidad de implementar bombas de desplazamiento en todo momento. Estas serán utilizadas solo para aumentar la presión del fluido y desplazarlo en menor tiempo o para el proceso de lavado de las tuberías. En la ilustración 18 se puede observar que el punto de entrega de la leche ha sido planteado en un punto del camino a 2 km de distancia del centro de acopio Nutri. Esto con la finalidad de reducir el tiempo de entrega de la leche y evitar que los camiones circulen por la carretera todo el trayecto hasta el centro de acopio pudiendo desplazar la leche hasta el poblado de Yanuncay mucho más rápido.

7.3.1.2. Caracterización del punto de acopio.

Una vez seleccionado el centro de acopio de leche cruda Nutri en Yanauncay se tomaron 6 puntos característicos en el terreno correspondientes a los cambios de pendiente del terreno para utilizarlos como puntos de diseño de la tubería, en los cuales es posible que existan uniones o puntos de acople con otra tubería. En la ilustración 19 se pueden apreciar los puntos descritos mientras que en la tabla 6 se resumen las características de elevación del terreno y se detallan las alturas absolutas y relativas del recorrido, así como la pendiente general y a trozos del tendido de tubería.

Figura 19

Ubicación del punto de entrega de leche propuesto en Yanuncay y su perfil de elevación.



Nota: En la ilustración se observan los puntos utilizados para caracterizar el recorrido de la tubería en el terreno de Yanuncay (Google earth pro)

La estimación de distancia vertical (DV) corresponde a la distancia relativa entre cada par de puntos que conforman un segmento del trayecto mientras que la distancia horizontal (DH) representa la distancia entre cada punto que los conforma. De esta manera podemos calcular la pendiente de cada tramo y la pendiente general mediante la ecuación 2 (Elaboración propia), mientras que la ecuación 3 permite estimar la distancia corregida, a partir de la relación de

catetos de un triángulo rectángulo.

$$Pend = \frac{(DV_2 - DV_1)}{DH} \times 100 \quad (2)$$

$$\sqrt{DV^2 + DH^2} \quad (3)$$

De la tabla 14 se puede rescatar que, por la distancia lineal corregida por la altitud, y correspondiente al recorrido de la tubería sobre el terreno, se requieren de 2025,36 mts de tubería para alcanzar el punto de distribución de leche ubicado a 2km del centro de acopio. Esto se debe al recorrido sobre el terreno y sus elevaciones, los cuales hacen necesaria esta corrección.

Tabla 14

Caracterización topográfica del trayecto de tubería propuesto.

Caracterización Topográfica del terreno									Ubicación	
P	Nombre	Localidad	Elevación (m)	Horizontal(m)	Dv(m)	DH(m)	Pendiente(%)	D.Lineal(m)	S	O
1	P1- Acopio	Yanuncay	2750	0	0	0	0 %	-	2°42'10.42"	78°55'28.02"
2	P2		2710	810	-40	810	-5 %	810,99	2°42'11.01"	78°55'01.98"
3	P3		2735	1010	25	200	13 %	201,56	2°42'11.92"	78°54'55.41"
4	P4		2685	1630	-50	620	-8 %	622,01	2°42'12.63"	78°54'35.59"
5	P5		2692	1920	7	290	2 %	290,06	2°42'13.15"	78°54'26.01"
6	P6- En- trega		2680	2020	-12	100	-12 %	100,72	2°42'13.27"	78°54'22.85"
Distancia Horizontal P1-P6 (m)			2020		Distancia Lineal total (m)			2025,36		

Nota: Tabla resumen de longitudes horizontales y verticales (Elaboración propia)

7.3.1.3. Material requerido.

Una vez estimada la distancia lineal al considerar la pendiente se puede calcular la cantidad de carretes de tuberías necesarias para cumplir con el diseño. De acuerdo a la tabla 14 se requieren 2025.36m de tubería, si cada carrete posee un rendimiento de 30m ($R_{Carrete}$) y su costo es de 130 USD ($P_{Carrete}$) por carrete, se puede estimar el costo de las tuberías del

proyecto de acuerdo a la ecuación 4.

$$C_{Carrete} = \frac{D_{Lineal}}{R_{Carrete}} \times P_{Carrete} \quad (4)$$

Entonces al aplicar la ecuación 4, se obtiene que son requeridos 67,51 carretes de tuberías con un costo global de 8776,56 USD. Cabe destacar que el costo del carrete y el rendimiento dependerá del tipo de tubería seleccionado para este trabajo. En esta oportunidad se considera una tubería de PVC de grado alimenticio con refuerzo de Nylon, la cual es una tubería de bajo costo y alta resistencia utilizada para el transporte de fluidos alimenticios, como vinos, aceites y lácteos a nivel internacional. Además de gran resistencia a la abrasión y al uso de agentes químicos para su limpieza tanto externos como internos. Las tuberías de plástico para el transporte de leche cruda están disponibles en una variedad de tamaños y diámetros para adaptarse a las necesidades específicas de cada aplicación, siendo relativamente fáciles de instalar y mantener, lo que las hace una opción económica. Entre las ventajas de las tuberías de plástico para el transporte de leche cruda se incluyen:

- Menor costo que las tuberías de acero inoxidable.
- Mayor flexibilidad que las tuberías de acero inoxidable.
- Resistencia a la corrosión.

Sin embargo, entre sus principales desventajas se incluyen:

- Menor durabilidad que las tuberías de acero inoxidable.
- Menor resistencia a los impactos que las tuberías de acero inoxidable.
- Menor resistencia a la contaminación que las tuberías de acero inoxidable.

La elección del tipo de tubería de plástico adecuada para el transporte de leche cruda dependerá de una serie de factores, incluidos el presupuesto, la durabilidad, la resistencia a la corrosión y la resistencia a la contaminación.

7.3.1.4. Cálculo hidráulico del sistema

Para la definición de las características mecánicas del sistema de distribución de leche se consideró inicialmente una tubería de 1/2 pulgada de diámetro conectada a la base de un tanque de 10000 Lts. ubicado en P1 como se describe en la ilustración 20. Se evaluaron todos

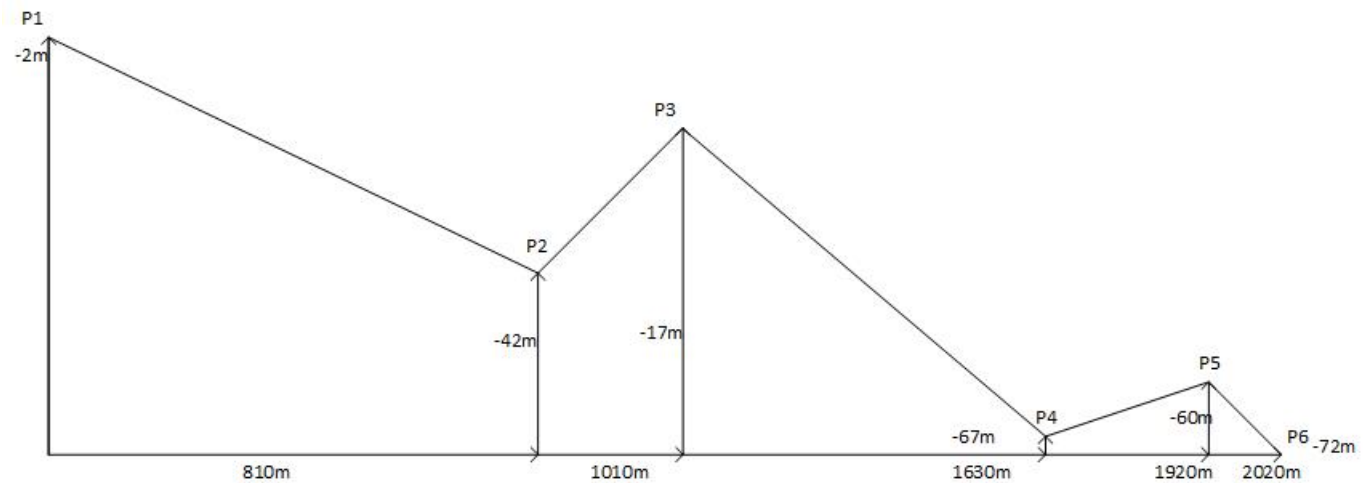
los puntos en el camino del sistema con la finalidad de conocer las variaciones de velocidad, caudal y presión que se podrían encontrar en el camino. Para realizar esta caracterización se empleó la teoría de Bernoulli (ecuación 5) (Creus S., 2011) y la ecuación de continuidad (ecuación 6) (Creus S., 2011), entre los puntos del sistema y reflejando el resumen de los resultados en la ilustración 19 referente a la tabla 7.

$$\frac{P_{v1}^2}{2} + pgh_1 + P_1 = \frac{P_{v2}^2}{2} + pgh_2 + P_2 \quad (5)$$

$$A_1v_1 = A_2v_2 \quad (6)$$

Figura 20

Caracterización Hidráulica del trayecto de tubería propuesto.



Nota: Descripción de elevación de los puntos de diseño de la tubería de transporte de leche en Yanuncay. (Detalles en la Ilustración 19)

Tabla 15

Caracterización Hidráulica del trayecto de tubería propuesto.

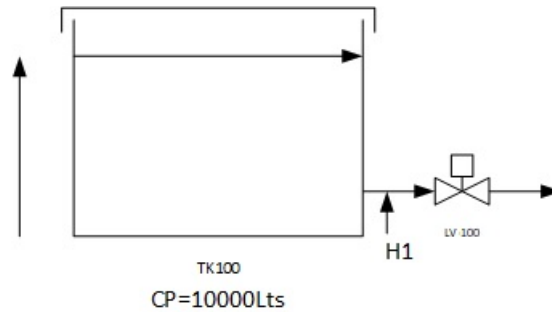
Diseño Hidráulico del sistema de transporte								
P	Nombre	Elevación (m)	Horizontal(m)	Dv(m)	Vf(m/s)	Caudal (m^3/s)	Caudal(Lt/s)	Presión (Kpas)
1	P1-Acopio	2750	0	-2	6,3	0,0008	0,7391	20,1480
2	P2	2710	810	-42	28,7	0,0036	3,6345	40,3360
3	P3	2735	1010	-17	18,3	0,0023	2,3123	40,3360
4	P4	2685	1630	-67	36,2	0,0046	4,5905	40,3360
5	P5	2692	1920	-60	31,3	0,0043	4,3441	40,3360
6	P6- Entrega	2680	2020	-72	37,6	0,0048	4,7587	40,3360
Diámetro de tubería D(in)		1/2						
Diámetro de tubería D(m)		0,0127						
Área de la tubería A(m^2)		0,00013						
Altura nivel del tanque H(m)		2,0						
Densidad del flujo $\rho(kg/m^3)$		1030						

Nota: Tabla resumen de longitudes horizontales y verticales, caudal y presión por tramos (Elaboración propia)

De lo cálculos realizados, se conoce que para una altura de fluido (H) de 2 mts dentro del tanque (tabla 15), se tiene una presión de descarga de 40,336 Kpas (5,849 Psi) y un caudal de 4,75 lts/s, con lo que se descargaría el tanque en 35,08 min. lo que se considera como tiempo suficiente para cargar un sistema de transporte o camión lechero.

Figura 21

Tanque Reservoirio de Leche 10000 Lts.

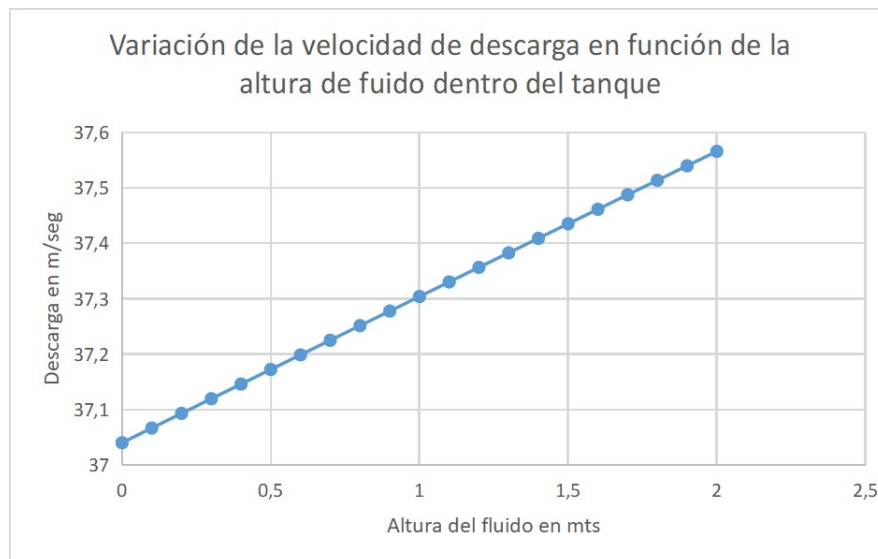


Nota: Detalle de diseño del tanque reservorio de 10000lts, La altura H corresponde a la altura nominal de liquido al realizar los cálculos. (Elaboración propia)

Dado que el sistema estaría diseñado para trabajar con la gravedad, es posible estimar la variación de presión a la salida, considerando que esta es dependiente de la altura (H) dentro del tanque. En la ilustración 21 se puede apreciar que esta lineal con respecto a la altura con un máximo de 40,336 Kpas y un mínimo de 20,148 Kpas.

Figura 22

Variación de la velocidad de descarga en función de la altura de fluido en el reservorio.

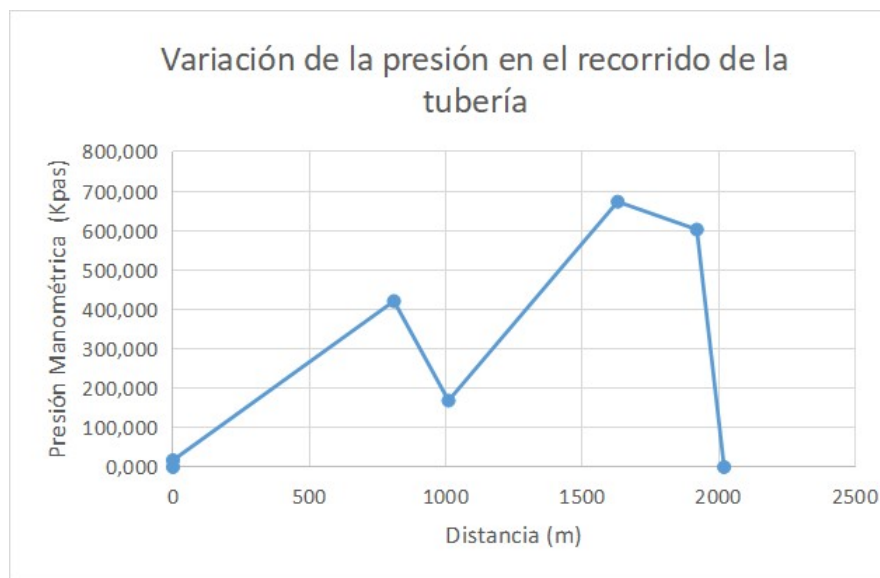


Nota: Punto de velocidad de descarga máxima y mínima en función de la altura de fluido en el tanque reservorio (solo se considera el diferencial de altura como fuente de energía para movilizar el fluido) (Elaboración propia)

De igual manera, en la ilustración 22 puede apreciarse la variación de la presión manométrica a lo largo de toda la tubería, elemento de diseño necesario para establecer los parámetros de control a implementar en el sistema. En esta se puede apreciar que tanto la descarga como la alimentación del sistema se realizan a presión atmosférica, presentando una presión máxima registrada en el punto P4 con un valor de 673,459 Kpas o 97,674 psi. Lo que nos define un sistema de trabajo con una presión máxima operacional de alrededor de 100 a 150 psi.

Figura 23

Variación del recorrido de la presión en el sistema.



Nota: la ilustración muestra la variación de la presión en los puntos característicos del sistema principal de la tubería de distribución (Elaboración propia)

7.3.1.5. Cálculo de pérdidas en las tuberías del sistema

Las pérdidas en las tuberías se refieren a la disipación de energía que ocurre cuando el fluido circula a través de la misma y a los cambios bruscos en la geometría en ella, como codos, válvulas, tees, reducciones y expansiones. A diferencia de las pérdidas por fricción, que se producen a lo largo de toda la tubería debido al rozamiento del fluido con la pared interna conocidas como pérdidas mayores, las pérdidas menores se concentran en estos detalles geométricos específicos del sistema.

Es por esto que debido a que la utilización del sistema dependerá del flujo por gravedad, es necesario estimar las pérdidas de presión relacionadas con la fricción dentro de la tubería y el efecto de los accesorios instalados en el mismo con la finalidad de comprender el efecto

que estas pueden tener al momento de bombear aguas arriba del sistema, o al implementar un sistema de lavado CIP, el cual requiere de un sistema de recirculación diseñado para eliminar la suciedad y limpiar la línea de transporte principal. La consideración y cálculo de estas pérdidas se encuentran resumidas en la tabla 16, en la que se define la altura específica relacionada con las pérdidas por fricción a lo largo de la tubería.

Partiendo de la ecuación de Colebrooke-White para flujo turbulento se define el tipo de flujo predominante en el trayecto de la tubería y se estiman las pérdidas asociadas, como se aprecia en la tabla 16, por lo que la fricción dentro de la misma representa un punto de vital importancia ante el diseño del sistema. De esta manera se considera que la altura equivalente producto de las pérdidas mayores en la tubería en caso del bombeo aguas arriba es de 219,49 m.

En el caso de las pérdidas menores debidas a los accesorios se considera un sobre factor de diseño preliminar de 1,15 con lo que se plantea subsanar el efecto de estos componentes, de los cuales aún no se tienen una disposición definitiva.

Tabla 16

Resumen de pérdidas.

Diseño Hidráulico del sistema de transporte														
P	Nombre	Elev (m)	Dis(m)	Dv(m)	Dh(m)	dt (in)	dt (m)	A(m ²)	V (m/s)	NR[-]	T. Flujo	Rug. Relat	f	HI(m)
0	Superficie del tanque	2752,0	0,0	2,0	0,0	815/8	2,000	3,14 exp +0	0,00	1,56 exp +03	Laminar	6,67 exp +6	0,012	0,000
1	P1 - Centro de acopio	2750	0,0	0,0	0,0	2	0,051	2,00 exp -03	2,35	6,14 exp +04	Turbulento	1,69 exp +05	0,020	0,000
2	P2	2710	810	-40,0	810,0	2	0,051	2,00 exp -03	2,35	6,14 exp +04	Turbulento	1,69 exp +05	0,020	89,054
3	P3	2735	1010	-15,0	200,0	2	0,051	2,00 exp -03	2,35	6,14 exp +04	Turbulento	1,69 exp +05	0,020	21,969
4	P4	2685	1630	-65,0	620,0	2	0,051	2,00 exp -03	2,35	6,14 exp +04	Turbulento	1,69 exp +05	0,020	68,165
5	P5	2692	1920	-58,0	290,0	2	0,051	2,00 exp -03	2,35	6,14 exp +04	Turbulento	1,69 exp +05	0,020	31,883
6	P6	2680	2020	-70,0	100,0	1/2	0,013	1,20 exp -03	37,57	2,46 exp +05	Turbulento	4,23 exp +04	0,015	8,399
Altura del tanque H(m)		2,0	Pérdida total (m) 219,489											
Densidad del fluido $\rho(kg/m^3)$		1030,0												
Viscosidad del fluido (kg/m.s)		0,002												
Rugosidad de la tubería(m)		3,00 exp -07												

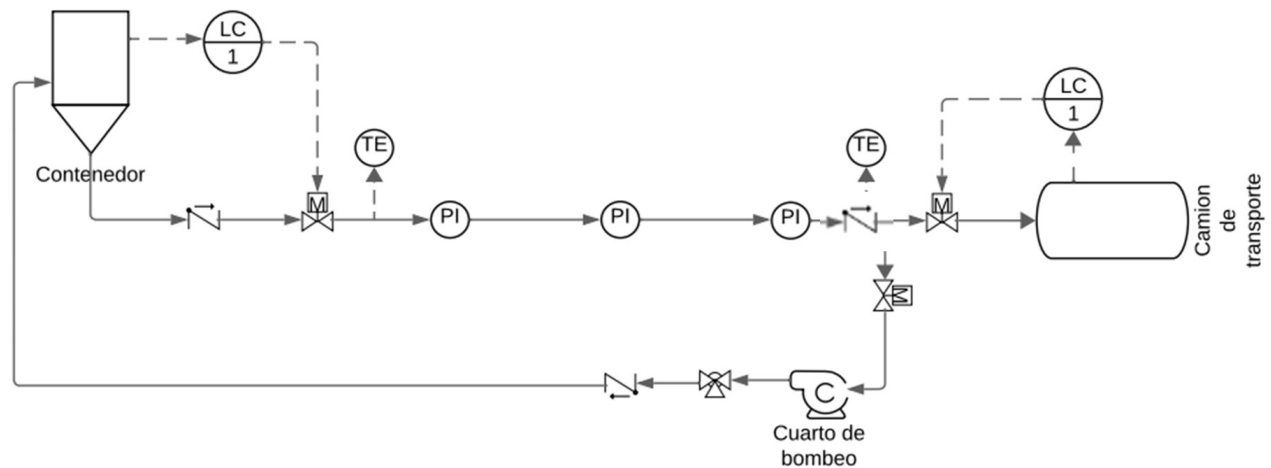
Nota: Tabla resumen de pérdidas en tubería

7.3.1.6. Altura de bombeo de diseño y potencia del sistema

Partiendo de los datos técnicos descritos en la tabla 16, y considerando un sistema con recirculación sobre el que se considera la posibilidad de bombear el fluido desde las cisternas hacia el tanque contenedor en el centro acopio, se procedió a dimensionar la bomba o grupo de bombas requerido para realizar la acción requerida. En la figura 24 se puede apreciar la configuración básica del sistema y se considera que el bombeo desde el camión de transporte hasta el contenedor de almacenamiento debe hacerse aguas arriba por lo que ha de utilizarse una bomba con potencia suficiente para realizar el trabajo.

Figura 24

Propuesta de diseño del sistema de distribución con retorno.



Nota: La ilustración muestra el funcionamiento del sistema de transporte automatizado propuesto

Tabla 17

Instrumentos de medición y control de variables correspondientes al sistema de distribución con retorno.

Instrumento	Codificación	Lazo
Control de nivel	LC	1
Medición de temperatura (Elemento primario)	TE	1
Indicador de Presión	PI	1
Válvula retención	N/C	1
Válvula controladora de flujo	N/C	1
Válvula tres vías	N/C	1

Nota: Instrumentos de medición y control de variables correspondientes al sistema de distribución con retorno (Elaboración propia).

De esta forma, definida la altura de bombeo y asumiendo las pérdidas por fricción en la tubería sobre la cual se toma el sobrefactor de diseño, debe considerarse que el bombeo estará dimensionado para superar una altura de 335,15 m como se describe en la tabla 18. Partiendo de estos datos se estimó la potencia de la bomba requerida mediante la implementación de la ecuación 7, con lo que se obtiene un valor de 33.54 Kw con una eficiencia del 65 %.

$$P_w = \frac{H_m * Q_b * \gamma}{76 * \eta} \quad (7)$$

Debido a que comercialmente y estratégicamente es inviable y muy costoso utilizar una bomba con estas características, se decidió confeccionar un cuarto de bombas con una capacidad compartida igual a la requerida por el diseño. De este modo se requieren 5 bombas que sean capaz de elevar el fluido a una altura 75 m cada una con una potencia de 10 Kw cada una, ya que de esta manera se pueden tener cuatro bombas operativas al mismo tiempo y una de respaldo para las labores de mantenimiento y descanso alternado de los equipos.

Tabla 18

Caracterización del sistema de bombeo y recirculación propuesto en Yanuncay.

Diseño hidráulico del sistema de transporte											
P	Nombre	Elev (m)	Dis(m)	Dv(m)	Dh(m)	dt (in)	dt (m)	V(m/s)	P.Manometrica (Kpas)	P. Absoluta (Kpas)	Ha (m)
0	Superficie del tanque	2752,0	0,0	2,0	0,0	815/8	2,000	0,002	0,00	101,325	0,000
1	P1 - Centro de acopio	2750	0,0	0,0	0,0	2	0,051	2,348	17,349	118,674	-25,013
2	P2	2710	810	-40,0	810,0	2	0,051	2,348	421,109	522,434	39,960
3	P3	2735	1010	-15,0	200,0	2	0,051	2,348	168,759	270,084	-24,975
4	P4	2685	1630	-65,0	620,0	2	0,051	2,348	673,459	774,784	49,950
5	P5	2692	1920	-58,0	290,0	2	0,051	2,348	602,801	704,126	-6,993
6	P6	2680	2020	-70,0	100,0	1/2	0,013	0,00	0,00	101,325	39,071
Altura del tanque H(m)		2,0	Altura de Bombeo (m)							72,000	
Densidad del fluido $\rho(kg/m^3)$		1030,0									
Viscosidad del fluido (kg/m.s)		0,002	Altura total (m)							335,213	
Rugosidad de la tubería(m)		3,00 exp -07									

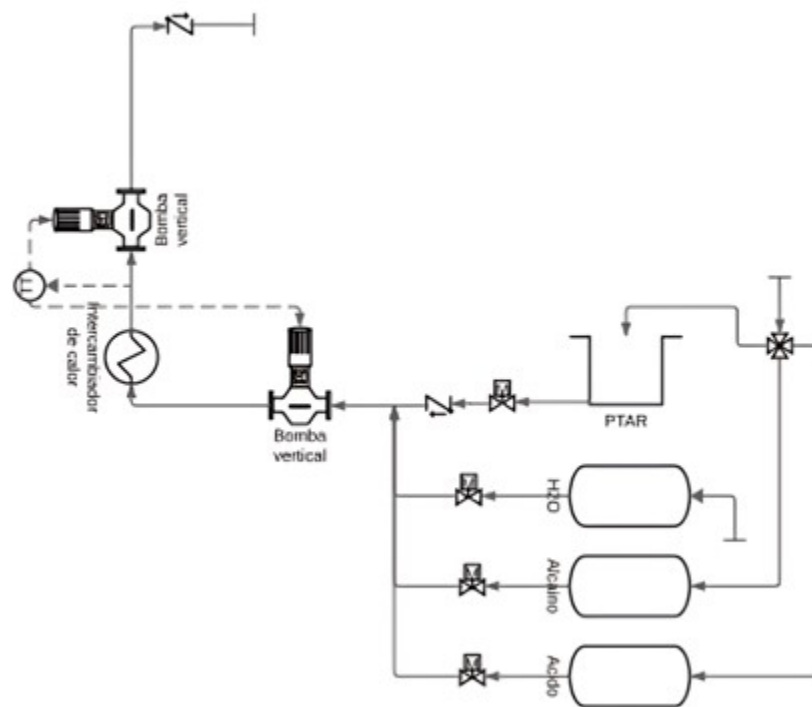
Nota: Tabla resumen de presiones Manométrica y Absoluta

7.3.1.7. Sistema de lavado CIP

Sobre el diseño propuesto es posible implementar un sistema de lavado en sitio al hacer circular por la tubería los compuestos necesarios, a la temperatura y concentración requeridos de modo que el sistema pueda ser reutilizable y se garantice de esa manera la inocuidad de la leche. En este sentido, se puede accionar un sistema comercial CIP o simplemente establecer los parámetros operacionales de uno hecho a la medida como el descrito en la ilustración 25. El cual fungirá como elemento suministrador de los compuestos a la temperatura requerida que se harán circular a través de la tubería principal utilizando el cuarto de bombas descrito anteriormente. Los parámetros de lavado y tiempos de ejecución del mismo han sido establecidos en el marco teórico y determinados como base principal de operación de este tipo de sistemas.

Figura 25

Planteamiento del sistema CIP.



Nota: La ilustración muestra una propuesta de sistema de limpieza CIP, en el cual se resalta principalmente el sistema de bombeo y recirculación

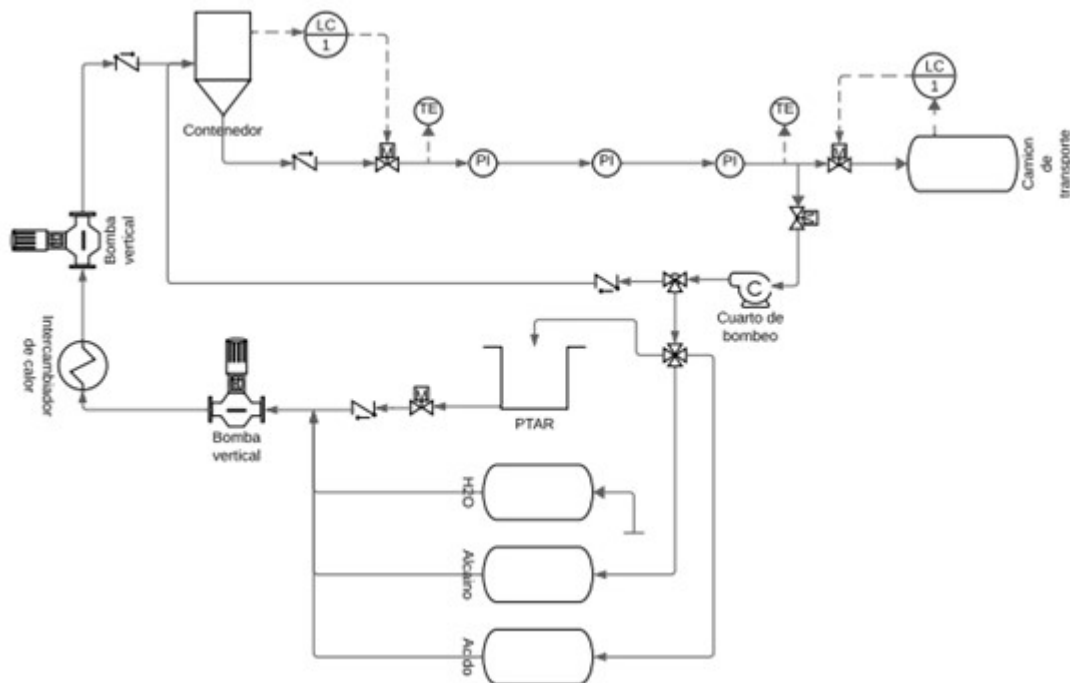
La idea principal radica en que la configuración descrita en la ilustración 25 sea de tipo

autocontenida y que este ubicada en el recinto de acopio con la finalidad de suministrar los compuestos necesarios al tanque de almacenamiento y con el uso del sistema de recirculación, emplear un protocolo de limpieza en las tuberías de distribución.

La combinación de ambos sistemas puede apreciarse en la ilustración 26 donde se logra la interconexión de los elementos de distribución y el sistema de lavado en sitio sin que exista el riesgo de que la leche entre en contacto con los compuestos utilizados en la limpieza. El agua para el enjuague inicial es tomada de la PTAR y para los ciclos de enjuague posterior se tomará agua limpia del tanque de H₂O. Para los ciclos de circulación de los compuestos ácidos y alcalinos serán tomados de los tanques de “Alcalino” y “Ácido” respectivamente y devueltos a los mismos al finalizar el proceso. Toda el agua utilizada para los enjugues será servida directamente en la planta de tratamiento a presión atmosférica y tratada para la espera de ser utilizada al comienzo de un nuevo ciclo de limpieza o para ser vertida al ambiente.

Figura 26

Sistema integrado de transporte de leche y limpieza CIP.



Nota: La ilustración muestra una propuesta de sistema integrado de transporte y sistema de limpieza CIP.

7.3.1.8. Disposición de los elementos y características operacionales

Los equipos propuestos para la implementación del sistema desarrollado corresponden a la descripción de los siguientes componentes:

- 1) **Líneas de distribución:** una vez estimada la distancia lineal al considerar la pendiente se puede calcular la cantidad de carretes de tuberías necesarias para cumplir con el diseño. De acuerdo a la tabla 6 se requieren 2025,36m de tubería, si cada carrete posee un rendimiento de 30m $R_{carrete}$ y su costo es de 130 USD $P_{carrete}$ por carrete, se puede estimar el costo de las tuberías del proyecto de acuerdo a la ecuación 8.

$$P_w = \frac{H_m * Q_b * \gamma}{76 * \eta} \quad (8)$$

De esta manera, se conoce que son requeridos 67,6 carretes de tuberías con un costo global de 8788 USD. Cabe destacar que el costo del carrete y el rendimiento dependerá del tipo de tubería seleccionado para este trabajo. En esta oportunidad se considera una tubería de PVC de grado alimenticio con refuerzo de Nylon, la cual es una tubería de bajo costo y alta resistencia utilizada para el transporte de fluidos alimenticios, como vinos, aceites y lácteos a nivel internacional. Además de gran resistencia a la abrasión y al uso de agentes químicos para su limpieza tanto externos como internos.

Las tuberías de plástico para el transporte de leche cruda están disponibles en una variedad de tamaños y diámetros para adaptarse a las necesidades específicas de cada aplicación, siendo relativamente fáciles de instalar y mantener, lo que las hace una opción económica.

Entre las ventajas de las tuberías de plástico para el transporte de leche cruda se incluyen:

- 1.1) Menor costo que las tuberías de acero inoxidable.
- 1.2) Mayor flexibilidad que las tuberías de acero inoxidable.
- 1.3) Resistencia a la corrosión.

Sin embargo, entre sus principales desventajas se incluyen:

- 1.1) Menor durabilidad que las tuberías de acero inoxidable.
- 1.2) Menor resistencia a los impactos que las tuberías de acero inoxidable.
- 1.3) Menor resistencia a la contaminación que las tuberías de acero inoxidable.

La elección del tipo de tubería de plástico adecuada para el transporte de leche cruda

dependerá de una serie de factores, incluidos el presupuesto, la durabilidad, la resistencia a la corrosión y la resistencia a la contaminación.

- 2) **Cuarto de bombas y bombas auxiliares:** Las bombas a utilizar en el sistema se dividen en dos, un sistema principal, denominado cuarto de bombas, utilizado para la recirculación y suministro agua arriba del tanque compuesto por 5 equipos de bombeo centrifugo marca Alfa Laval modelo LKH mostrado en la ilustración 31.

Partiendo de la potencia requerida, altura de la bomba, flujo volumétrico y presión de descarga, se puede establecer mediante el diagrama presente en la ilustración 32 que el equipo que puede realizar esta tarea es el modelo LKH-40 el cual puede elevar un caudal del 17 m³/hr a una altura de 80m con una eficiencia cercana al 65 %. De manera que 4 bombas pueden levantar el cabezal requerido y la quinta quedaría de respaldo para las operaciones de mantenimiento o apoyo alternado de las unidades. La potencia requerida por el sistema es de 33.54 kW y dado que la bomba LKH-40 viene en una serie de niveles de potencias, se consideró utilizar 5 bombas modelo LKH-40/IEC-160 de 11 kW, trifásica, 220 volts y 60 Hz cada una.

Para el caso de las bombas auxiliares presentes en el sistema CIP, estas deberán trabajar para un mismo caudal de 17 m³/hr, pero su altura de bombeo es mucho menor que la requerida para el sistema principal, por lo que dos bombas modelo LKH-15, cuya altura de bombeo máxima es de 20m es más que suficiente. Se plantean 2 bombas modelo LKH-15/IEC-90 de 1.5 Hp cada una, trifásica, 220 Volts y 60 Hz.

Figura 27

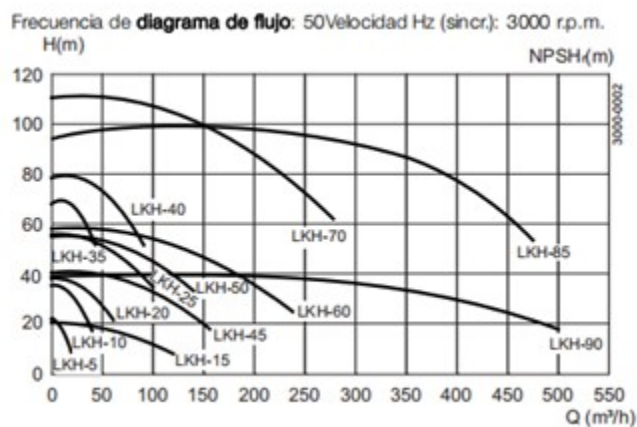
Bomba centrífuga de grado alimenticio marca Alfa Laval.



Nota: La ilustración muestra una bomba centrífuga de grado alimenticio marca Alfa Laval. (Alfalaval, 2023)

Figura 28

Curvas características de la bomba centrífuga de grado alimenticio marca Alfa Laval.



Nota: La ilustración muestra las curvas características de la bomba centrífuga de grado alimenticio marca Alfa Laval. (Alfalaval, 2023)

- 3) **Válvulas y conexiones:** con la finalidad de controlar el fluido y los procesos de trasiego, distribución y limpieza descritos, se requiere de un grupo de válvulas de grado alimenticio que sean capaz de manejar el caudal asociado a una presión manométrica máxima de

673,45 kPa o 97,67 psi desarrollada en el recorrido de la tubería. Al mismo tiempo para lograr un sistema que pueda ser automatizado, se requiere que estas válvulas sean accionadas a distancia con un motor actuador que proporcione el control sobre las operaciones. El modelo propuesto para este componente lo conseguimos en la marca Alfa Laval modelo SBV, tipo bola de apertura motorizada como la descrita en la ilustración 26, la cual presenta una presión máxima de diseño de 1600 kPa. Las dimensiones previstas por el fabricante detalladas en la tabla 10 nos permite seleccionar el modelo DN/OD 51, para una tubería de 2in de acuerdo al diseño propuesto.

El control sobre este tipo de válvulas puede realizarse mediante la alimentación de señales de nivel y de temperatura, las cuales si se compaginan se pueden realizar las acciones de apertura y cierre respectivo. Este conjunto de válvulas se suministra en una configuración “normalmente cerrada” pero puede ser modificadas de acuerdo a la aplicación final. Desde el punto de vista de control, este sistema entrega la posición de apertura o cierre como dato de salida del sistema mediante sensores de proximidad inductivos, lo que permite conocer el porcentaje de cierre o apertura del sistema.

Figura 29

Válvula de bola automática marca Alfa Laval.



Nota: La ilustración muestra una válvula de bola cuyas características se muestran en figura 30. (Alfalaval, 2023)

Figura 30

Características de construcción de válvulas de bola Alfa Laval.

Dimensiones (mm)												
Tamaño	Tubo en pulgadas						DIN tubo					
	DN/OD	DN/OD	DN/OD	DN/OD	DN/OD	DN/OD	DN 25	DN 40	DN 50	DN 65	DN 80	DN 100
A	25	38	51	63.5	76.1	101.6	74	95	110	130	159	195
OD	74	95	110	130	159	195	29	41	53	70	85	104
ID	25	38	51	63.5	76.1	101.6	26	38	50	66	81	100
t	21.8	34.8	47.8	60.3	72.9	97.6	1.5	1.5	1.5	2	2	2
B	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	2	93	103	113	125	163	220
C	93	103	113	125	163	220	180	180	180	180	180	291
D	180	180	180	180	180	291	117	125	135	145	156	206
E	117	125	135	145	156	206	104	104	104	104	104	129
F	104	104	104	104	104	129	307	315	324	335	346	395
G1	307	315	324	335	346	395	334	342	350	362	372	422
G2	334	342	350	362	372	422	344	352	360	372	382	432
H	344	352	360	372	382	432	70.5	79	84	90.5	104	114
J	70.5	79	84	90.5	104	114	55	65.5	73	83	97.5	115.5
K	55	65.5	73	83	97.5	115.5	13	19	25	33	54.5	65.5
Peso manual (kg)	13	19	25	33	54.5	65.5	2	3.1	4.5	6.4	12.3	24
Peso accionado (kg)	2.3	3.4	4.8	7	13.5	27	6.4	7.5	8.9	10.8	17.9	32.8
Peso con adaptador ThinkTop® (kg)	6.7	7.8	9.2	11.4	17.9	35.8	8.3	9.4	10.8	12.7	19.8	34.7

Nota: La ilustración muestra dimensiones de las diferentes partes que conforman una válvula de bola, teniendo mayor importancia las dimensiones de conexión con las tuberías asociadas. (Alfalaval, 2023)

Por otro lado, las válvulas de tres y cuatro vías de grado alimenticio propuestas son dispositivos utilizados en la industria alimentaria para controlar el flujo de líquidos o gases en sistemas de procesamiento de alimentos. Estas válvulas están diseñadas para cumplir con los estándares de higiene y seguridad alimentaria, y están fabricadas con materiales que son seguros para su uso en este tipo de aplicaciones. El modelo propuesto es suministrado por la marca Covna Valve fabricada en acero inoxidable, cuya presión máxima de operación es de 1600kPa y con la posibilidad de modificar la orientación del flujo mediante un actuador motorizado como el que se describe en la ilustración 30. En la tabla 11 se encuentran descritos los detalles técnicos de ese tipo de implemento, de la cual se estima utilizar un diseño de 51mm de diámetro para una tubería de 2in.

Figura 31

Válvula de tres vías automática marca Covna Valve.



Nota: La ilustración muestra una válvula de tres vías empleada típicamente en la industria alimenticia.(Covna, 2023)

Figura 32

Características de válvulas tres vías Covna Valve.

Qutine Size drawing									UNIT: mm
Size	Ø19	Ø25	Ø32	Ø38	Ø51	Ø63	Ø76	Ø89	
d	16	22	29	35	48	59	72	85	98
D	50.5	50.5	50.5	50.5	64	77.5	91	106	119
L	105	126	138	155	186	200	220	240	268
H	45	48	52.5	65	74	84	102	112	122
B	60	61.5	69	77	91	109	122	135	150
Actuator	AT52	AT52	AT52	AT63	AT75	AT83	AT105	AT125	AT125
Weight kg	2.23	2.38	2.68	3.88	5.58	6.22	12.88	15.5	18.58

Note: Tolerance of data L is +2/-0

Nota: La ilustración muestra una diámetros y dimensiones de una válvula de tres vías empleada típicamente en la industria alimenticia.(Covna, 2023)

- 4) **Unidad de recepción de leche:** La unidad de recepción de leche es un equipo que se utiliza para verificar la cantidad exacta de leche descargada de un camión cisterna. El equipo de recepción de leche generalmente está compuesto por:

- 4.1) Una unidad de bombeo centrifugadora auto succionadora

4.2) Un contador-caudalímetro con separador de aire.

4.3) Un filtro de leche.

4.4) Un intercambiador de calor.

4.4) Un tanque para la reserva y el almacenamiento de leche.

La unidad de recepción de leche también se utiliza para pesar la leche que entra al proceso y para realizar análisis organolépticos (olor, sabor, color), así como acidez, grasa y antibióticos. La unidad de recepción de leche (URL) Gemina es un sistema diseñado para recibir, enfriar y almacenar la leche cruda producida en las explotaciones ganaderas. Su objetivo es garantizar la calidad de la leche y facilitar su transporte a las plantas de procesamiento. El modelo propuesto es el MKL-RE-/10000-B el cual es capaz de recibir, almacenar, refrigerar y distribuir 10.000lts de leche la cual posee un control nativo PLC y un sistema de medición de masa como el descrito en la tabla 20 y mostrado en la ilustración 33.

Figura 33

Tanque contenedor de Leche marca Gemina.



Nota: : La ilustración muestra un operario verificando variables del tanque Gemina.

Tabla 19

Características de los sistemas de entrega marca Gemina.

Características de los sistemas de entrega marca Gemina						
Modelo	Capacidad (Lt/h)	Producto	Sistema	Sistema de medida	Impulsión	Automatización
ML-RE-/1000-B	1000	MILK	Ciclón-Centrífuga	Magnético	Centrífuga	Manual
ML-RE-/5000-B	5000	MILK	Ciclón-Centrífuga	Magnético	Centrífuga	Manual
ML-RE-/10000-B	10000	MILK	Ciclón-Centrífuga	Másico	Centrífuga	PLC
ML-RE-/15000-B	15000	MILK	Ciclón-Centrífuga	Másico	Centrífuga	PLC

Nota: La tabla muestra las características referentes a capacidad en litros por hora, sistema de medición y medio de automatización de los sistemas de entrega Gemina.(Gemina, 2024)

- 5) **Tanques de almacenamiento de fluidos:** Para el almacenamiento de los compuestos de limpieza se consideran tres tanques de almacenamiento de 3000lts cada uno los cuales contendrán el agua, el compuesto alcalino y el compuesto ácido que utilizarán durante la limpieza del sistema principal de distribución. En la ilustración 39 se aprecia el modelo propuesto, caracterizado por tener una orientación horizontal y montado sobre flancos de apoyo que le dan mayor rigidez estructural. Sus uniones o bridas de llenado y drenaje son de 2in y trabajan a una presión máxima de 1000 kPa.

Tabla 20

Especificaciones de dimensiones de los tanques evaluados.

Tabla de capacidades y medidas							
Volumen (Litros)	Diámetro (mm)	Altura Total (mm)	Altura sin Patas modelo 1 (mm)	Altura sin Patas modelo 2 (mm)	Altura sin Patas modelo 3 (mm)	Largo total modelo 1 (mm)	Largo total modelo 2 (mm)
1000	1000	1495	1600	1730	1600	1480	1480
1500		2130	2235	2365	2235	2115	2115
2000		2765	2870	3000	2870	2750	2750
2500		3405	3505	3635	3505	3390	3390
3000		4040	4145	4275	4145	4025	4025
2000	1600	1265	1395	1640	1395	1255	1255
2500		1515	1645	1890	1645	1505	1505
3000		1765	1895	2135	1895	1750	1750
3500		2010	2140	2385	2140	2000	2000
4000		2260	2390	2635	2390	2250	2250
4500		2510	2640	2880	2640	2500	2500
5000		2760	2890	3130	2890	2750	2750
6000		3255	3385	3630	3385	3245	3245
7000		3755	3880	4125	3880	3740	3740
8000		4250	4380	4625	4380	4240	4240

Nota: dimensiones referentes a volumen, diámetro y altura de los diferentes tanques evaluados. (Gemina, 2024)

7.3.2. Propuesta de solución

El sistema de transporte automatizado de leche planteado para el alcance de esta fase del proyecto, corresponde a la implementación de instrumentos de medición con indicación local, que permitan la posibilidad de monitorearlos desde un sistema de adquisición de datos, la selección se planteó considerando que las implementaciones sean realizadas por etapas, la instrumentación propuesta aplica en primer lugar para el sistema de transporte de leche y luego de culminado este, entra la etapa corresponde a los ciclos de limpieza CIP que garantizan el cumplimiento de normas de salubridad del sistema.

Para el dibujo de instrumentos, elementos de medición y válvulas controladoras se muestra al lector una breve descripción de normativa ISA empleada, los diagramas P&ID (Piping and Instrumentation Diagram) actualizados de los sistemas propuestos y finalmente la filosofía de operación y control de los procesos, en base al fundamento teórico y metodológico desglosado en los capítulos preliminares.

7.3.2.1. Normativa ISA

La normativa ISA (Instrument Society of America) es un estándar internacional que establece un sistema de designación basado en códigos y símbolos que identifican un instrumento de medición o control según la variable que estos miden, la normativa permite identificar dentro de un plano P&ID instrumentos ubicados en lazos de control enumerados, clasificados según su función (indicadores y/o controladores) y asociados a una variable específica, en la tabla 21 se muestran las respectivas designaciones de los instrumentos, de acuerdo a la variable correspondiente. La normativa ISA tiene como objetivo facilitar la comunicación, el diseño, la operación y el mantenimiento de los sistemas de control, así como garantizar la seguridad de las personas y el medio ambiente. Mientras que en las ilustraciones 34, 35 y 36, se observa parte de la simbología empleada en un plano P&ID, para ampliar la referencia consultar (Creus S., 2011).

Tabla 21

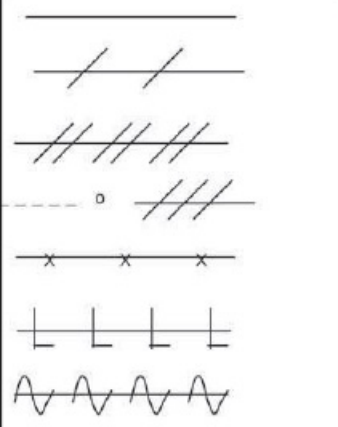
Designación de letras asociadas a la función del instrumento, según normas ISA.

Primera letra			Letras sucesivas		
	Variable medida	Letra de modificación	Función de lectura pasiva	Función de salida	Letra de modificación
A	Análisis		Alarma		
B	Quemador, combustión		Libre	Libre	Libre
C	Libre			Control	
D	Libre	Diferencial			
E	Tensión		Sensor (Elemento Primario)		
F	Caudal	Relación			
G	Libre		Vidrio, Dispositivo visión		
H	Manual		Alarma		Alto
I	Corriente (eléctrica)		Indicar		
J	Potencia	Exploración			
K	Tiempo, Programación Tiempo	Variación de tiempo		Estación de Control	
L	Nivel		Luz		Bajo
M	Libre	Momentáneo			Medio, Intermedio
N	Libre		Libre	Libre	Libre
O	Libre		Orificio, Restricción		
P	Presión, Vacío		Punto (ensayo) conexión		
Q	Cantidad	Integrar, Totalizar			
R	Radiación		Registro		
S	Velocidad, Frecuencia	seguridad		Interruptor	
T	Temperatura			Transmisión	
U	Multivariable		Multifunción	Multifunción	Multifunción
W	Peso, Fuerza		Vara, Sonda		
X	Sin Clasificar	Eje X	Sin Clasificar	Sin Clasificar	Sin Clasificar
Y	Evento, Estado o Presencia	Eje Y		Relé, Cálculo, Conversión	
Z	Posición, Dimensión	Eje Z		Motor, Actuador	

Nota: Tabla de letras asignadas en las normas ISA a cada variable medida por un instrumento de medición y/o control. (Creus S., 2011)

Ilustración 34

Símbolos empleados para designar señales, según normas ISA.

	1. Alimentación de instrumentos o conexión a proceso * 2. Señal sin definir 2. Señal neumática** 3. Señal eléctrica 4. Tubo capilar 5. Señal hidráulica 6. Señal electromagnética *** o sónica (sin hilo ni tubo)
---	---

Nota: La ilustración muestra las diferentes señales que pueden ser identificadas en un P&ID, según normas ISA. (Creus S., 2011)

Ilustración 35

Símbolos empleados para designar instrumentos de medición y/o control, según normas ISA.

	LOCALIZACIÓN PRIMARIA *** normalmente accesible al operador	UBICACION DE MONTAJE	LOCALIZACIÓN AUXILIAR *** normalmente accesible al operador
INSTRUMENTOS DISCRETOS	1 *  IP1**	2 	3 
	UBICADO EN TERRENO	UBICADO EN PANEL	UBICADO EN PANEL LOCAL
DISPLAY COMPARTIDO CONTROL COMPARTIDO	4 	5 	6 
	ACCESO PARA AJUSTE LIMITADO	ACCESIBLE PARA AJUSTE	
FUNCIÓN COMPUTACIONAL	7 	8 	9 
	REGISTRADOR ACCESIBLE		
CONTROL LÓGICO PROGRAMABLE	10 	11 	12 
*	El tamaño del símbolo puede variar de acuerdo a las necesidades del usuario y el tipo de documento. Se sugiere que el tamaño del cuadrado y del círculo para grandes diagramas sea el que se muestra. Se recomienda ser consistente.		
**	Abreviaciones del usuario tal como: IP1 (instrumento panel N° 1), IC2 (instrumento de consola N° 2) CC3 (Consola de computador N° 3), etc. Se pueden usar si es necesario, en la localización o función de un instrumento.		
***	Normalmente inaccesible o dispositivo "montado detrás del panel", o funciones que pueden ser caracterizadas usando el mismo símbolo pero con líneas segmentadas horizontales, es decir:		
			

Nota: La ilustración muestra los diferentes símbolos asociados a instrumentos de medición y/o control que pueden ser identificados en un P&ID, de acuerdo a ubicación primaria, de montaje o auxiliar y según los componentes de visualización y control que los componen, según normas ISA. (Creus S., 2011)

Una vez sintetizada la información del compendio de normas ISA la, siguiente pregunta que pudiera formularse es ¿En qué forma se usa la combinación de variables y símbolos para el respectivo plano?, en la tabla 22 y la ilustración 43, se muestra un ejemplo de dicha combinación de letras y números y algunos símbolos de instrumentos identificados siguiendo la nomenclatura de símbolos (poner atención a la variable nivel, ya que estará presente en esta propuesta).

Tabla 22

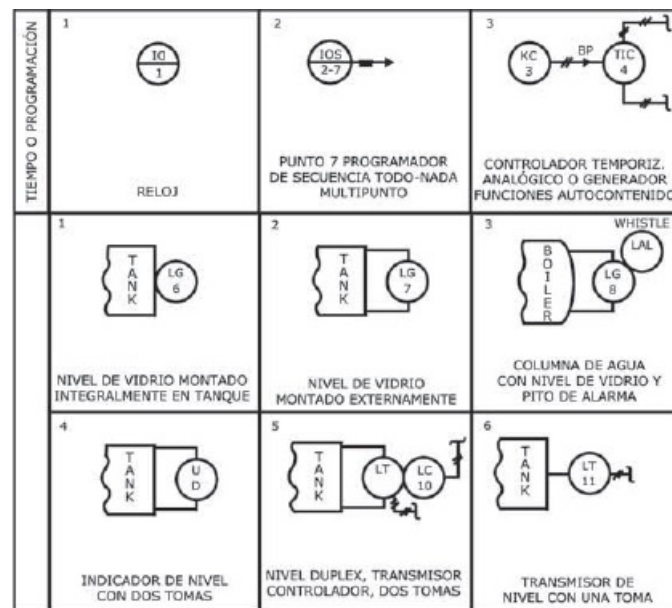
Ejemplo de identificación de un instrumento controlador de temperatura, según normas ISA.

TIC	103	Identificación Funcional del Instrumento
T	103	Identificación del lazo
	103	Número del lazo
T		Primera Letra
IC		Letras sucesivas

Nota: Instrumentos de medición y control de variables correspondientes al sistema de Transporte de Leche (Elaboración propia)

Ilustración 36

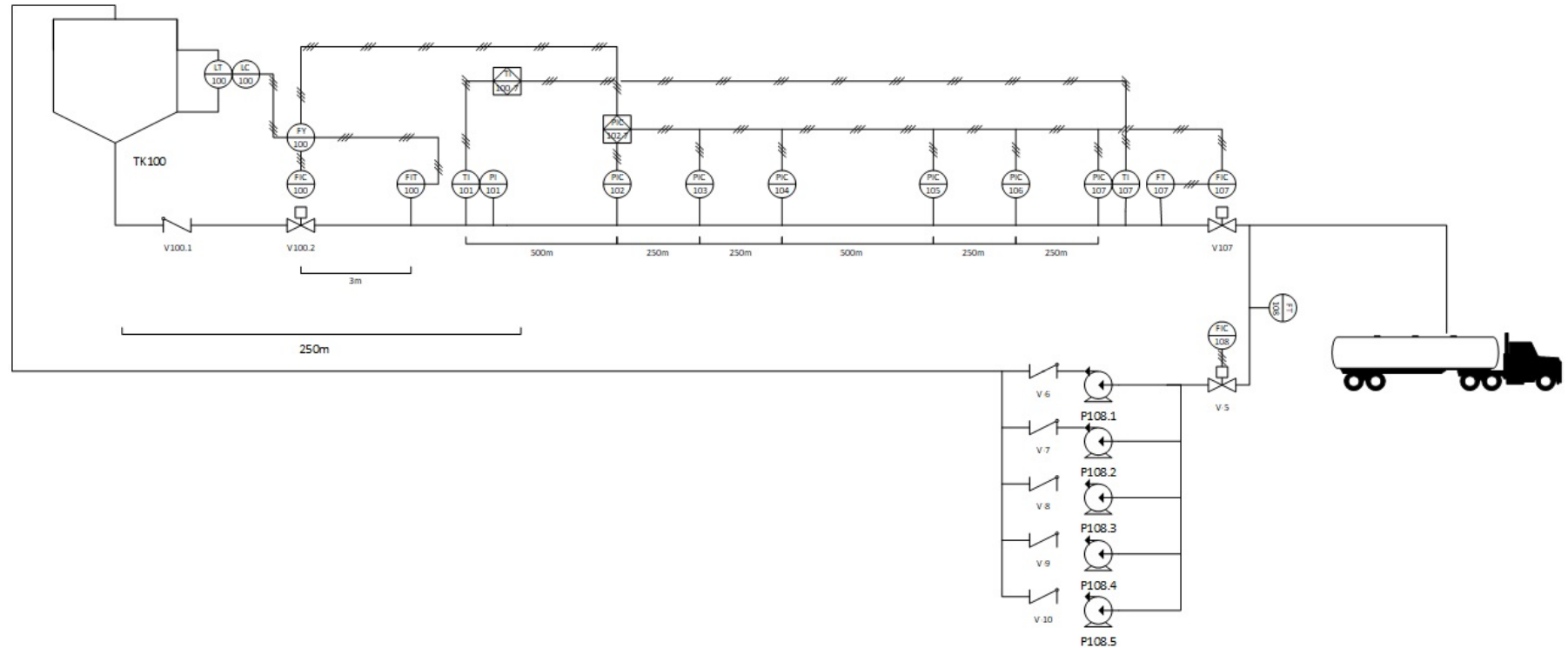
Símbolos empleados para designar instrumentos de medición de nivel y controladores de tiempos, según normas ISA.



Nota: La ilustración muestra los diferentes símbolos asociados a instrumentos de medición de nivel y controlador de temporización, según normas ISA. (Creus S., 2011)

82

Nota: La ilustración muestra el diagrama de tuberías e instrumentación del sistema transporte automatizado propuesto a partir de los cálculos efectuados, cabe destacar que durante transporte se encuentra activa la rama que conecta directamente al camión, mientras que las bombas están inactivas (fuente propia)



De acuerdo al P&ID propuesto en la ilustración 37 se observa la rama correspondiente a tubería de transporte y parte de la rama del lavado, que para esta etapa de operación del sistema se deshabilita, se especifica en las tablas 12 y 13 nombres de variables, nomenclatura y rangos de operación.

Tabla 23

Instrumentos de medición y control de variables correspondientes al sistema de Transporte de Leche

Variable	Codificación	Rango
Alarma de nivel alto	LH-100	2,5 metros
Alarma de nivel bajo	LH-100	0,1 metros
Transmisor de nivel	LT-100	[0,1-2,4metros]
Controlador de nivel	LC-100	[4-20mA]
Indicador de Nivel	LI-100	Visualización y adquisición de datos en computador, [4-20ma] [0-16 bits]
Relé de control de caudal por relación de variables	FY-100	[4-20mA]
Controlador Indicador de Flujo	FIC-100	[4-20mA]
Válvula controladora de Flujo	V100.2	[0-400 Lt/min][0-500 psi]
Válvula check	V100.1	[0-500 psi]
Transmisor Indicador de Flujo	FIC-100	[0-400 Lt/min][4-20mA]
Indicador de temperatura	TI-101	[-10 a 150°C]
Indicador de temperatura	TI-107	[-10 a 150°C]
Indicador de temperatura	TI-101-7	Visualización y adquisición de datos en computador [4-20ma] [0-16 bits]

Nota: Instrumentos de medición y control de variables correspondientes al sistema de Transporte de Leche (Elaboración propia)

Tabla 24

Instrumentos de medición y control de variables correspondientes al sistema de Transporte de Leche

Controlador indicador de presión	PIC-103	[0-500 psi]
Controlador indicador de presión	PIC-104	[0-500 psi]
Controlador indicador de presión	PIC-105	[0-500 psi]
Controlador indicador de presión	PIC-106	[0-500 psi]
Controlador indicador de presión	PIC-107	[0-500 psi]
Controlador Indicador de Flujo	FIC-107	[4-20mA]
Válvula controladora de Flujo	V107	[0-400 Lt/min]/[0-500 psi]
Transmisor de Flujo	FT-107	[0-400 Lt/min]/[0-500 psi]
Controlador Indicador de Flujo	FIC-107	[4-20mA]
Controlador Indicador de Flujo	FIC-108	[4-20mA]
Válvula controladora de Flujo	V108.0	[0-400 Lt/min]/[0-500 psi]
Transmisor de Flujo	FT-108	[0-400 Lt/min]/[0-500 psi]
Válvula check	V108.1	[0-500 psi]
Válvula check	V108.2	[0-500 psi]
Válvula check	V108.3	[0-500 psi]
Válvula check	V108.4	[0-500 psi]
Válvula check	V108.5	[0-500 psi]
Bomba centrífuga	P108.1	[0-500 psi]
Bomba centrífuga	P108.2	[0-500 psi]
Bomba centrífuga	P108.3	[0-500 psi]
Bomba centrífuga	P108.4	[0-500 psi]
Bomba centrífuga	P108.5	[0-500 psi]

Nota: Instrumentos de medición y control de variables correspondientes al sistema de Transporte de Leche (Elaboración propia)

La filosofía de control correspondiente al diagrama contempla entonces las siguientes acciones:

- 1) **Medición de nivel y caudal en el tanque de acopio:** El paso inicial del sistema de transporte consiste en monitorear el nivel del tanque de acopio, basado en la altura

del líquido relacionada con la capacidad de 10000 Lts. propuesta y siempre que haya leche almacenada en el tanque, se procede a medir y ajustar el caudal, condición tanque cerrado y contempla los siguientes pasos:

1.1) Transmisor de nivel LT-100 y controlador asociado LC-100, actúan directamente sobre la válvula V100.2, es decir, que mientras haya leche dentro del tanque este indicador y su controlador asociado dan información respecto a cuanta cantidad aún está disponible dentro del tanque, mientras que LH-100 y LL-100, dan información al respecto de los niveles críticos del tanque, estos se sugieren sean utilizados por un sistema de monitoreo ubicado en un computador, para esta fase del requerimiento, la visualización de estas alarmas queda local.

1.2) Válvula check V100.1, evita retorno de leche hacia el tanque TK-100., con rango de trabajo de presión de [0-500psi] y de caudal en [0-400Lt/min].

1.3) Válvula controladora de flujo V100.2, ajusta el flujo de salida del tanque de acopio, en función de la proporción de leche almacenada, a manera de evitar que se acumule aire a la salida del tanque y que este pueda causar medidas erróneas o en su defecto problemas aguas abajo en los instrumentos, la señal de control proviene de FIC-100 en el rango de 4-20 ma, para apertura del 0-100% respectivamente, en la acción de control de este controlador, inciden el valor actual del nivel y el valor del caudal aguas abajo del tanque TK100.

1.4) Controlador indicador de flujo FIC-100, actúa directamente sobre la válvula V100.2, al recibir la señal del relé de relación FY-100 que compara las señales de los controladores de nivel LC-100, los controladores de presión PIC-12 al 17 y el transmisor de caudal FIT-100, a manera de que se ajuste el caudal en función de variaciones de nivel en el tanque, caudal de salida hacia la tubería de transporte y presión registrada en los tramos, con el objeto de garantizar que la tubería siempre se encuentre completamente llena.

1.5) Relé de relación de Flujo FY-100, relaciona la proporción del nivel en el tanque, la presión en la tubería y el caudal en la tubería, el relé calcula el grado de ajuste que debe tener la variable deseada, para actuar sobre la válvula que manipula la variable de proceso caudal, el ajuste es hecho en función de eliminar el aire a lo largo de tubería, su rango de actuación es de 4-2 ma para señales de entrada y de salida.

1.6) Transmisor indicador de Flujo FIT-100, indica el caudal a la salida del tanque y el cual circulara a lo largo de la tubería de transporte, el rango para la medición de

caudal se ubica de 0-400Lt/min, mientras que la salida hacia los otros instrumentos conectados al lazo está en el rango de 4 a 20 ma.

- 2) **Medición de temperatura:** indicadores de temperatura TI-101 y TI-107, para el transporte de leche, su única función es registrar la temperatura de la misma dentro de la tubería, a fin de garantizar que se encuentre debidamente refrigerada, para entonces proceder a ajustar los parámetros dentro del control de temperatura nativo del Tanque seleccionado.
- 3) **Medición de presión:** indicadores de presión PI-101, registra los cambios de presión a lo largo de la tubería y le dan información al relé de relación, para realizar los ajustes correspondientes al caudal de salida hacia la tubería de transporte.

3.1) Controladores Indicadores de Presión PIC-102,PIC-103,PIC-104,PIC-105,PIC-106,PIC-107, registra los cambios de presión a lo largo de la tubería y le dan información al relé de relación ante un incremento de presión por presencia de aire en la tubería, a manera de ajustar el caudal de salida y disminuir la mayor cantidad de aire y gases posibles de la leche que será descargada en la cisterna, su rango de salida va de 4 a 20 ma igualmente, mientras que las presiones que miden se ubican entre los 0 y 500 psi.

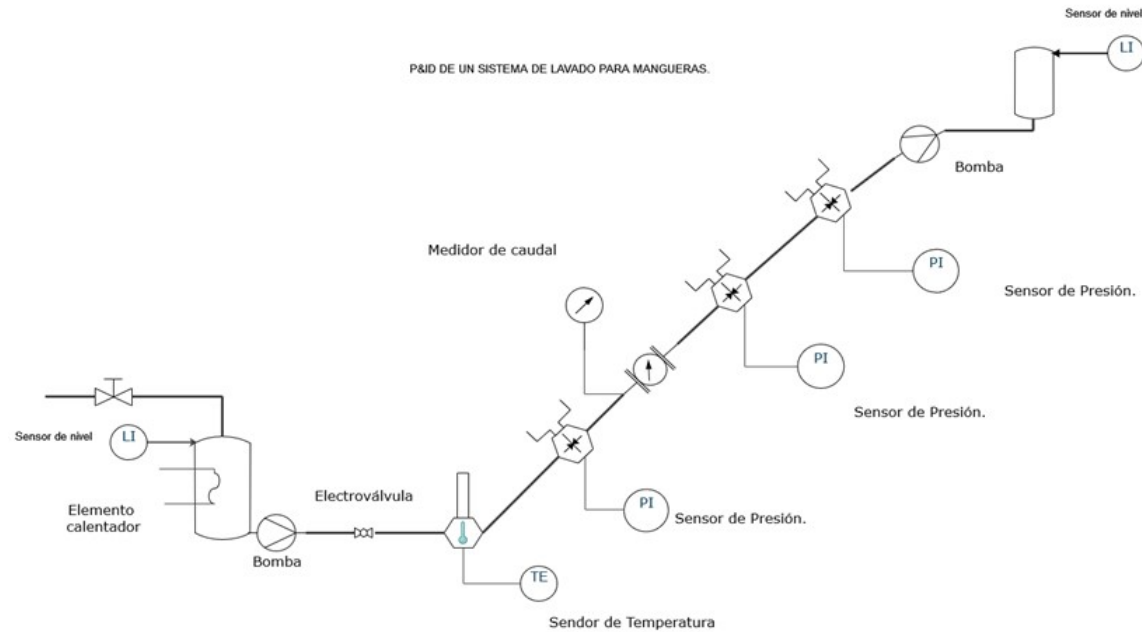
- 4) **Medición de caudal:** Transmisor de flujo FT-107 y controlador de Flujo FIC 107, ubicados al final de la línea de transporte, dan información de como está el caudal a la salida del sistema y en conjunto con el relé de relación se realizan ajustes en la válvula controladora de caudal V100.2 para mantener constante dicho caudal de descarga y así garantizar que el tiempo de parada de la cisterna sea el mínimo.
- 5) **Control de caudal:** válvula controladora de flujo V107, garantiza que el caudal se mantenga constante hasta la etapa final de la línea de transporte y sirve como sistema de medición de la calidad del transporte de la leche al cuantificar la cantidad de litros efectivos por minuto son entregados por el sistema.

De acuerdo a las acciones descritas anteriormente se puede diseñar a futuro un esquema de programación para un sistema de adquisición de datos, en vista de que se tienen los rangos de las señales a controlar y monitorear de la tabla de variables y el esquema de funcionamiento de las señales del sistema acopladas.

A continuación, en las ilustraciones 38 y 39 se presenta una propuesta de diagrama de tubería e instrumentación del sistema de limpieza CIP adaptado al comportamiento topográfico del sector.

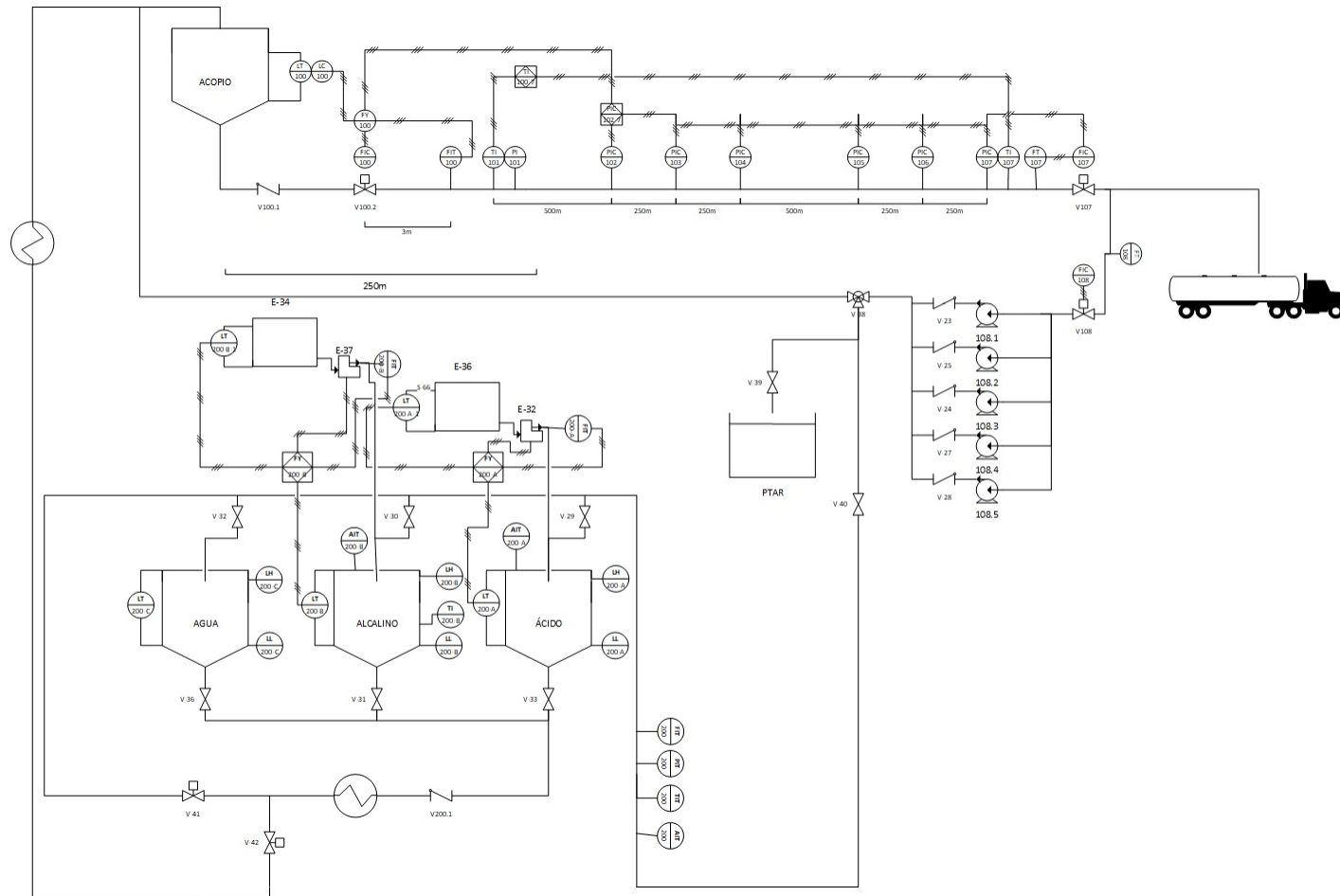
Ilustración 38

Diagrama de tubería e instrumentación, modificado para ilustrar cambios de altura de la tubería.



Nota: La ilustración muestra un diagrama de tuberías e instrumentación de un sistema de lavado de mangueras, modificado para mostrar efectos de la altura en la disposición de la tubería (fuente propia)

Nota: La ilustración muestra un diagrama de tuberías e instrumentación del sistema de transporte y limpieza completo (fuente propia)



A la lista de instrumentos anteriormente descrita, se suman los siguientes:

Tabla 25

Instrumentos de medición y control de variables correspondientes al sistema de Transporte de Leche

Variable	Codificación	Rango
Alarma de nivel alto	LH-200-A/B/C	1,5 metros
Alarma de nivel bajo	LH-200-A/B/C	0,1 metros
Transmisor de nivel	LT-200-A/B/C	[0,1-2,4metros]
Transmisor de nivel	LT-200/A.1/B.1	[0,1-2,4metros]
Relé de Relación control flujo	FY-200-A/B	[4-20mA]
Transmisor Indicador de Análisis (PH/Conductividad)	AIT-200-A/B	[4-20ma][0-16 bits]
Controlador Indicador de Flujo	FIT-200-A/B	[4-20mA]
Válvula check	V200.1	[0-500 psi]
Indicador de temperatura	TI-200-B	[-10 a 150°C]
Indicador de temperatura	TI-107	[-10 a 150°C]
Indicador de temperatura	TI-101-7	Visualización y adquisición de datos en computador [4-20ma] [0-16 bits]

Nota: Instrumentos de medición y control de variables correspondientes al sistema de Transporte de Leche (Elaboración propia)

Tabla 26

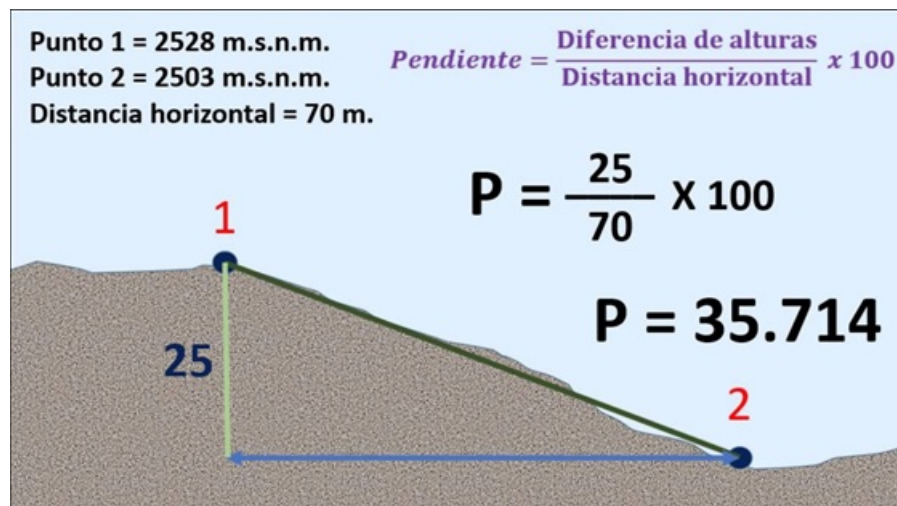
Instrumentos de medición y control de variables correspondientes al sistema de Transporte de Leche y limpieza CIP

Transmisor indicador de presión	PIT-200	[0-500 psi]
Transmisor Indicador de Flujo	FIT-200	[0-400 Lt/min][0-500 psi]
Transmisor Indicador de Temperatura	TIT-200	[-10-150°C][4-20mA]
Transmisor Indicador de Flujo	FIT-200-A/B	[4-20mA]
Bomba dosificadora	P-200-A/B	[0-100 psi]

Nota: Instrumentos de medición y control de variables correspondientes al sistema de Transporte de Leche y Limpieza CIP (Elaboración propia)

Ilustración 40

Cálculo de pendiente en porcentaje.



Nota: El gráfico mostrado se puede utilizar para calcular la distancia vertical que se recorrerá al recorrer una distancia horizontal determinada (Elaboración propia)

Para la toma de diferencias de altura y poder calcular la pendiente se debe usar instrumentos de altitud para facilitar las tareas en campo.

Ejemplo de toma de altitud para calcular pendiente, este cálculo se considera para los cálculos de longitud de manguera, cableado eléctrico, flujo de caída de líquido.

Los altímetros y GPS ayudaran a agilizar el proceso y exactitud de las pendientes con estudio topográfico.

Ilustración 41

Altímetros y GPS.



Nota: La imagen muestra un sistema portátil de medición de altura basado en GPS (Geomática., 2020)

8. Resultados

En este capítulo se plantea el análisis de resultados obtenidos por objetivo específico, correspondientes a los apartados: caracterización de factores técnicos determinantes en el diseño del sistema de transporte automatizado; cálculos del sistema de bombas y tuberías, sistemas de medición y control que actúan sobre bombas, válvulas y tuberías.

8.1. Caracterización de factores técnicos determinantes en el diseño del sistema de transporte automatizado

En el primer paso que consistió en la selección del punto de acopio considerando el factor altura como determinante para los cálculos de pérdidas, diámetros de tuberías y bombas, se observó que además de la altura del punto seleccionado como centro de acopio, es necesario que el terreno este limpio de vegetación para las labores de mantenimiento, cuente con sistemas de tendido eléctrico aledaño para garantizar suministro eléctrico o sistemas alternos de energía, vías alternas para subir equipos y herramientas y pendientes ubicadas entre 20° y

35°, principalmente para evitar cambios abruptos de la velocidad del fluido, que para el caso de transporte es leche, pero para el caso de limpieza puede ser agua, solución ácida o solución alcalina.

El cambio de velocidad puede inferir en el equilibrio de ecuación de Bernoulli, a partir de la cual se realizaron los diferentes cálculos de pérdidas en tuberías y de las cuales depende el diámetro de la tubería propuesta, pero además se debe considerar que también influye en la temperatura del fluido que para el momento sea transportado.

En segundo lugar el conocimiento de los procesos y factores que influyen para garantizar un adecuado transporte de la leche cruda que va desde sus características fisicoquímicas, las temperaturas adecuadas para almacenamiento según normativa nacional e internacional y además tomando como referencia a diferentes empresas que realizan transporte y pasteurización de la leche, hasta los procesos de higiene en la industria como los sistemas CIP, permiten pensar en sistematización de esta metodología de trabajo, para llevarla a otras regiones siempre que se evalúen condiciones topográficas similares, con variación del perfil de evaluación, en la cual se esperaría que varíe la longitud de la tubería total requerida, la presión a lo largo de la misma y la velocidad del fluido, para finalmente afectar la capacidad del sistema de bombeo en sistema de transporte y sistema de limpieza CIP.

8.2. Cálculos del sistema de bombas y tuberías

En la metodología de cálculos se observó que el factor determinante para el rendimiento del sistema es la altura como se describió en el apartado anterior, dado a que a mayor altura, mayor capacidad deben poseer las bombas para poder transportar desde la altura en la cual se espera que se ubiquen los camiones cisterna para el transporte de la leche hacia el centro de pasteurización, hasta el punto de acopio, ya que la tubería debe ser sometida al proceso de Limpieza CIP, se observó que se puede jugar con la parametrización por tramos, si se observa que hay cambios abruptos en pendiente que no pueden ser modificados para la posterior instalación, la temperatura de trabajo para el transporte de la leche es crítica, por lo que la medición y posterior ajuste en diferentes puntos del sistema de transporte puede ser requerido en función de mantener operativamente dicha temperatura de refrigeración, es decir, el sistema aún así diseñado sistemáticamente y considerando las características del sitio en el cual se propone su implementación, debe ser ajustado, calibrado y evaluado antes de su puesta en funcionamiento, a través de parámetros operativos in situ.

8.3. Sistemas de medición y control que actúan sobre bombas, válvulas y tuberías

Para la selección de los sistemas de medición y control que actúan sobre bombas, válvulas y tuberías, se parte de la selección de equipos hecha a en función de los rangos de presión, caudal y temperatura requeridos, mientras que la ubicación se realiza de acuerdo al comportamiento que podría esperarse en dichas variables según los cálculos realizados, comportamiento observado en las gráficas de variación de presión y velocidad y en la filosofía de trabajo revisada en el sistema de limpieza. Se sitúan en distancias estratégicas acordes con las variaciones observadas en las gráficas de presión a lo largo de la tubería y en la cual se esperaría un cambio en las características de los fluidos, por ello se plantean instrumentos que puedan ser ajustados en forma local, es decir, tienen un panel y un indicador para su ajuste en el sitio y en forma remota, para ser ajustados desde una consola, es decir, un entorno diseñado para que las variables de interés sean ajustadas desde un computador o desde un aplicativo que pueda ser desarrollado para teléfonos (ambos como trabajos de titulación posteriores a este).

En la selección de los instrumentos se consideraron rangos con un exceso o sobredimensionados por encima de los rangos de trabajo calculados u obtenidos de la filosofía de operación del CIP, con el objeto de evitar saturar los instrumentos y de poder hacer ajustes posteriores de escalas, por otro lado, considerando un 30% para tampoco afectar considerablemente la estimación de costos, una vez discutida la factibilidad técnica.

Se encontró también que una mejor manera de disponer el cuarto de bombeo obedece a una distribución del bombeo total entre cuatro bombas, la quinta dibujada en el diagrama P&ID, es de respaldo, está prevista que opere como sistema redundante, es decir, si cualquiera de las bombas P108.1 a la P108.4, debe entrar en mantenimiento, entonces entra en operación P108.5 o incluso en paradas programada.

Por último y no menos importante se observó que un proyecto de procura de instrumentos, en la etapa de Ingeniería conceptual y de detalle, cuando se plantea un diagrama P&ID, la lista de componentes, partes, tuberías y sus diámetros, válvulas y dimensiones, así como codificaciones asociadas a los diferentes lazos de control, se hacen prioritarias para poder definir y comprender la filosofía de operación de la planta, conducente al desarrollo de la consola de operación e incluso al documento de mantenimiento de esta, el empleo de las normas ISA en la industria es fundamental en la identificación de problemas que pudieran presentarse en un proceso cuando este se encuentre en marcha.

9. Conclusiones

Durante el desarrollo de la propuesta de sistema de transporte automatizado de lácteos se pudieron observar los siguientes hechos:

- El diseño para ser replicado, debe adaptarse a diferentes sistemas topográficos, es decir, variación de altura, distancia horizontal o pendiente del terreno, esto que implica que necesariamente el estudio técnico levantado en este trabajo de titulación, para ser validado a otro espacio de la región, requiere que se realice un estudio previo de las condiciones geográficas, ya que, estas afectan las consideraciones para los cálculos de tuberías, longitudes de tuberías requeridas, pérdidas esperadas por fricción y capacidad de bombas para desplazar el fluido aguas arriba, es decir hacia el centro de acopio.
- Las mangueras propuestas son de nylon, en función de la literatura evaluada, pero también, las condiciones del entorno y las intrínsecas del proceso pueden disminuir su tiempo de vida, por lo que se puede plantear un plan de mantenimiento, que evalúe esas condiciones de trabajo periódicamente, para determinar el mejor momento para el reemplazo de la red de tuberías.
- La selección de la instrumentación está acoplada a las características mecánicas del sistema diseñado, para ajustes se deja abierta la propuesta, en principio con el objetivo de ampliar el número de instrumentos, suponiendo que se modifica por ejemplo la trayectoria de la manguera, o se modifica el punto de recepción donde aguarda el camión cisterna de transporte.
- El sistema de bombeo es crítico para la limpieza del sistema, por ello contar con una bomba de respaldo o redundante es garantía de una operación continua, con la salvedad de establecer periódicamente los planes de mantenimiento preventivo y correctivo.

10. Recomendaciones

Entre las recomendaciones para esta propuesta de sistema de transporte automatizado de lácteos se tienen:

- Realizar una sistematización de cálculos que incluya algunos aspectos del perfil de elevación de una zona de difícil acceso, con el objeto de parametrizar diferentes escenarios de tuberías y sistemas asociados, ejemplo elegir la mejor trayectoria para tuberías y

acceso de operarios, para entonces tener una memoria de cálculo que sea accesible para las modificaciones en las diferentes iteraciones de diseño.

- Armar un pool de diferentes opciones de proveedores de componentes mecánicos como tuberías, válvulas, conexiones y sistemas de acople, así como también de instrumentación aplicada a la industria para acondicionar el diseño final a las características del entorno o proximidades de este para garantizar siempre disponibilidad del sistema.
- Levantar un diagnóstico situacional que incluya a otros productores afectados para entonces contar una base de datos topográficos a la que ajuste la propuesta de sistema planteada de la manera más práctica y en el menor tiempo posible.
- Incluir a la disciplina de Ingeniería Informática o Ingeniería Mecatrónica para llevar a cabo el desarrollo del sistema de información que permita obtener datos de producción una vez implementada la propuesta o en vías de implementarse.

Referencias

- Alfalaval. (2023). Bomba centrífuga folleto del producto. <https://www.alfalaval.com/globalassets/documents/products/fluid-handling/pumps/centrifugal-pumps/lkh/alfa-laval-lkh-bomba-centrifuga—folleto-del-producto—ese00263.pdf>
Consultado: 21/12/2023..
- Árauz, E., y Montezuma, A. (2020). *Perfil de la curva de lactación y producción láctea comercial en vacas cebuínas y cruzadas en fincas lecheras con baja tecnología en el trópico*. (Vol. 2). Investigaciones agropecuarias.
- ASTM. (2021). Standard test methods for vulcanized rubber and thermoplastic elastomers. *ASTM D412-16 a D412-98*
Consultado: 1/12/2023.
- Betelgeux. (2019). Sistemas de limpiezas cip en la industria láctea. <https://www.betelgeux.es/blog/2019/09/06/sistemas-de-limpiezas-cip-en-la-industria-lactea/>
Consultado: 29/11/2023, Edición 23..
- Bocci, D., y Casas, M. (2013). *Producción de leche en polvo entera, parcialmente descremada y descremada*. Universidad Nacional de Cuyo.
- Briño, V. (2012). *Diagnóstico e implementación de diagramas de proceso para el mejoramiento de la productividad en la planta de lácteos 6 de enero*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Covna. (2023). Electric gate valve. <https://www.covna-china.com/dlp/electric-gate-valve.html>
Consultado: 21/12/2023..
- Creus S., A. (2011). *Instrumentación industrial*. (Vol. 1). Alfaomega.
- Electroinstalador. (2024). Las ventajas de los sistemas de limpieza cip n1801. <https://www.electroinstalador.com/aea-sacif/las-ventajas-los-sistemas-limpieza-cip-n1801>
Consultado: 29/1/2024..
- Engormix. (2011). Importancia de la limpieza química en la industria láctea. https://www.engormix.com/lecheria/bioseguridad-desinfeccion-lecheria/importancia-limpieza-quimica-industria_a29004/
Consultado : 26/1/2024..
- FAO. (2023). Portal lácteo. <https://www.fao.org/dairy-production-products/processing/collection-and-transport/es/>

Consultado: 01/12/2023.

Freepik. (2024). Proceso de producción de la leche. <https://www.freepik.es/>

Consultado: 29/1/2024..

Gargil. (2021). Bombas para la industria láctea: cualidades y funcionamiento. recuperado el 25 de 11 de 2023, de <https://gargil.es/bombas-para-la-industria-lactea/>.

Gemina. (2024). Maquinaria. <https://www.gemina.es/es/maquinaria>

Consultado: 26/1/2024..

Geomática., G. (2020). ¿cómo se hace un levantamiento topográfico con gps? <https://www.globalmediterranea.es/levantamiento-topografico-con-gps/>

Consultado: 3/12/2023.

Guzmán, L., y Guitierrez, F. (2016). *Análisis del ciclo de vida de la producción de leche cruda*. Universidad El Bosque.

IEWC. (2023). Techflex. [https://www.iewc.com/techflex/brand?utm_term = techflex&utm_campaign = &utm_source = adwords&utm_medium = ppc&hsa_acc = 4903240602&hsa_cam = 20509188872&hsa_grp = 154626826282&hsa_ad = 672261989000&hsa_src = g&hsa_tgt = kwd - 13296932&hsa_kw = techflex&hsa_mt = b&hsa_net = adwords&h](https://www.iewc.com/techflex/brand?utm_term=techflex&utm_campaign=&utm_source=adwords&utm_medium=ppc&hsa_acc=4903240602&hsa_cam=20509188872&hsa_grp=154626826282&hsa_ad=672261989000&hsa_src=g&hsa_tgt=kwd-13296932&hsa_kw=techflex&hsa_mt=b&hsa_net=adwords&h)

Consultado : 29/11/2023.

INEC. (2020). Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua (ESPAC). https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2020/Metodologia%20ESPAC%202020.pdf

Consultado : 1/12/2023.

Instruments, H. (2024). ¿qué es la titulación? <https://www.hannabolivia.com/blog/post/419/que-es-titulacion>

Consultado: 26/1/2024..

Jara, C. (2014). *Desaireadores*. Universidad de Chile.

Kolstad, C. (2019). Tameson. <https://tameson.es/pages/mangueras-para-leche-y-productos-lacteos-como-funcionan>

Consultado: 29/11/2023.

Maldonado, J. (2008). Aplicación de modelo matemático predictivo para la determinación de incrustaciones en pasteurizadores a placas en industria. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/11984/3/Tesis%20Juan%20OC%20Maldonado%20C.pdf>

Consultado: 29/1/2024..

Martínez, M. (2019). *Sistema de limpieza cip en una industria de fabricación de quesos*.

Universidad de Valladolid .

Ministerio del Ambiente, A. y. T. E. (2020). *Ma e ejecuta proyecto sobre manejo de ganadería sostenible*. (Vol. 1). MAE.

Munson, D. F., B., y T., O. (1999). *Fundamentos de mecánica de fluidos*. Limusa Wiley.