UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL

Sede Central

Ingeniería Electromecánica

Propuesta de proyecto para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Electromecánica

Análisis sobre los consumos del agua potable en los sistemas de refrigeración y lubricación de los equipos de producción en una planta de bebidas lácteas en Alajuela, 2024

Estudiante
Roberto Steven Castro Obando
207080398

III Cuatrimestre 2024

UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL

Acta de Aprobación __1__-2025

En la ciudad de Alajuela, a los 6_ días del mes de __MARZO_____ del año 2025 el Tribunal evaluador conformado por las personas: ING MARVIN SEGURA TREJOS, ING RONALD PORRAS ALVARADO, ING LIMBER MORA VEGA, ING JOSE TORRES LEDEZMA, ING HAROLD VASQUEZ MONTERO, proceden a evaluar la presentación del proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciado en Ingeniería Electromecánica del estudiante **ROBERTO STEVEN CASTRO OBANDO**, identificación 207080398, titulado **"ANALISIS SOBRE LOS CONSUMOS DEL AGUA POTABLE EN LOS SISTEMAS DE REFRIGERACION Y LUBRICACION DE LOS EQUIPOS DE PRODUCCION EN UNA PLANTA DE BEBIDAS LACTEAS EN ALAJUELA, 2024"** modalidad TRABAJO FINAL DE GRADUACION. El Tribunal Evaluador apegado a regulaciones y requisitos establecidos en el Reglamento de Trabajos Finales de Graduación de la Universidad Técnica Nacional, realizó la revisión del proyecto del estudiante otorgando una calificación de 9,8, dando como resultado Aprobado.

Ing. Marvin Segura Trejos
Director Licenciatura en Ingeniería Electromecánica y Lector

Ing. Limber Mora Vega (Tutor)

Roberto Steven Castro Obando (Estudiante)

Harold V.M.
Ing Harold Vasquez Montero
(Sector industrial)

Ing. Jose Torres Ledezma
(Lector)

Ing. Ronald Porras Alvarado (Lector)

UNIVERSIDAD TECNICA NACIONAL

LICENCIATURA EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL TUTOR

DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Fecha: 07/03/2025

Señores miembros de la Comisión de Trabajo Final de Graduación

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado:

"Análisis sobre los consumos del agua potable en los sistemas de refrigeración y lubricación de los equipos de producción en una planta de bebidas lácteas en Alajuela, 2024" elaborado por el estudiante: **Roberto Steven Castro Obando**, como requisito para que el citado estudiante pueda optar por el grado académico de Licenciado en Ingeniería Electromecánica.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su entrega ante el Comité de Trabajos Finales de Graduación.

Se suscribe cordialmente:

LIMBER MORA VEGA (FIRMA)

Digitally signed by LIMBER MORA VEGA (FIRMA)
Date: 2025.03.08 10:42:25 -06'00'

_____

Ing. Limber Mora Vega

UNIVERSIDAD TECNICA NACIONAL

LICENCIATURA EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL LECTOR

DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Fecha: 10 de Febrero de 2025.

Señores miembros de la Comisión de Trabajo Final de Graduación

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado:
"Análisis sobre los consumos del agua potable en los sistemas de refrigeración y lubricación de los equipos de producción en una planta de bebidas lácteas en Alajuela, 2024" elaborado por el estudiante: Roberto Steven Castro Obando, como requisito para que el citado estudiante pueda optar por el grado académico de Licenciado en Ingeniería Electromecánica.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su entrega ante el Comité de Trabajos Finales de Graduación.

Se suscribe cordialmente:

RONALD PORRAS ALVARADO (FIRMA)

Firmado digitalmente por RONALD PORRAS ALVARADO (FIRMA)
Fecha: 2025.02.10 19:49:15 -06'00'

Ing. Ronald Porras

UNIVERSIDAD TECNICA NACIONAL

LICENCIATURA EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL LECTOR

DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Fecha: 07-03-2025

Señores miembros de la Comisión de Trabajo Final de Graduación

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado: "**Análisis sobre los consumos del agua potable en los sistemas de refrigeración y lubricación de los equipos de producción en una planta de bebidas lácteas en Alajuela, 2024**" elaborado por el estudiante: Roberto Steven Castro Obando, como requisito para que el citado estudiante pueda optar por el grado académico de Licenciado en Ingeniería Electromecánica.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su entrega ante el Comité de Trabajos Finales de Graduación.

Se suscribe cordialmente:

Ing. Jose Torres Ledezma

UNIVERSIDAD TECNICA NACIONAL

LICENCIATURA EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL FILÓLOGO

DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

San Pedro de Poás, 15 de enero de 2025

Señores
Miembros de la Comisión de Trabajo Final de Graduación

Estimados señores:

Leí y corregí el Trabajo Final de Graduación, denominado:

Análisis sobre los consumos del agua potable en los sistemas de refrigeración y lubricación de los equipos de producción en una planta de bebidas lácteas en Alajuela, 2024, elaborado por el estudiante**: Roberto Steven Castro Obando**, para optar por el grado académico de Licenciado en Ingeniería Electromecánica.

Corregí el trabajo en aspectos, tales como: construcción de párrafos, vicios del lenguaje que se trasladan a lo escrito, ortografía, puntuación y otros relacionados con el campo filológico, y desde ese punto de vista considero que está listo para ser presentado como Trabajo Final de Graduación; por cuanto cumple con los requisitos establecidos por la Universidad.

Se suscribe cordialmente,

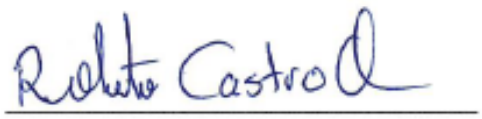
Máster Margarita Víquez Murillo

Filóloga Carné # 5387

DECLARACIÓN JURADA

El suscrito **Roberto Steven Castro Obando** con cédula de identidad número 2-0708-0398, declaro bajo fe de juramento, conociendo las consecuencias penales que conlleva el delito de perjurio: Que soy el autor (a) del presente trabajo final de graduación, modalidad proyecto de graduación; para optar por el grado académico de Licenciado en Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica Nacional y que el contenido de dicho trabajo es obra original del suscrito.

Fecha: 06/03/2025



Firma del estudiante

AGRADECIMIENTOS

A mi esposa por las palabras de aliento cuando dudaba de mis capacidades, por su apoyo constante ante momentos difíciles, por su paciencia y amor incondicional, gracias de todo corazón.

A mi familia por siempre apoyarme en mis decisiones y por enseñarme hacer una persona de valores, muchas gracias.

A mis profesores guías, Steve Acosta y Limber Mora por toda su ayuda desde el inicio del proyecto y la elaboración del mismo.

Al Ingenieros José Torres y Daniel Esquivel, por brindarme la oportunidad de generar este proyecto en la empresa y todo el apoyo que me brindaron durante el desarrollo.

DEDICATORIA

A mi madre Lisbeth Obando Salazar, que con mucho esfuerzo me apoyo y me motivo en todo este camino como estudiante hasta lograr el objetivo.

A mi tío, Alexander Obando Salazar, quien me motivaba constantemente para seguir adelante y desde el cielo me ilumina para seguir adelante con mis proyectos.

Índice de contenido

Capítulo I 21

Introducción 21

1.1. Área de estudio 23

1.1.1. Línea temática 23

1.1.2. Área temática 23

1.1.3. Tema de estudio 23

1.1.4. Objeto de estudio 23

1.2. Situación problemática 24

1.3. Justificación 29

1.4. Alcance 32

1.4.1 Limitaciones 33

1.5. Estado del arte 34

1.6. Objetivos 38

1.6.1. Objetivo general 38

1.6.2. Objetivos específicos 38

Capítulo II 40

Marco teórico 40

2.1. Aguas en la industria 40

2.2. Cálculos de dimensiones de tubería en canales abiertos o tuberías circulares 41

2.2.1. Primer método 41

2.2.2. Segundo método 41
2.2.3. Pendientes y velocidades 42
2.2.4. Algunos requisitos importantes 44
2.3. Cálculos de velocidad 45
2.4. Pérdidas menores en tuberías 46
2.5. Coeficientes de resistencias para válvulas y acoplamientos 47
2.6. Numero de Reynolds 49
2.7. Cálculos para selección de la bomba 50
2.8. Términos financieros 52
2.8.1. Valor actual neto (VAN) 52
2.8.2. Taza interna de retorno (TIR) 53
2.8.3. Periodo de recuperación (PR) 53
Capítulo III 54
Marco metodológico 54
3.1. Hipótesis 54
3.2. Tipo de investigación 54
3.3. Muestra 56
3.4. Metodología 58
Capítulo IV 62
Presentación de análisis de resultados 62
4.1. Mediciones de caudales por áreas 62
4.1.1. Mediciones de caudales en el área de mezclado 62

4.1.2. Mediciones de caudales en el área de proceso 63

4.1.3. Mediciones de caudales en el área de llenado 64

4.2. Clasificación de equipos para plan piloto 66

4.3. Análisis técnico 70

4.3.1 Análisis técnico sobre las bombas de trasiego 70

4.3.2 Propuesta sobre la compra de equipo para la captación, filtración y recirculación del agua para las llenadoras Tetrapak 81

4.3.3. Propuesta sobre la reutilización del agua de las llenadoras hacia condensadores evaporativos y caldera 84

4.4.1. Análisis de costos por compra de sellos mecánicos y ahorro por eliminar agua potable para la lubricación de sellos mecánicos de las bombas de trasiego 112

4.4.2. Análisis sobre la compra de un equipo para filtración de aguas residuales de las llenadoras Tetrapak. 116

4.4.3. Análisis financiero sobre propuesta de reutilización del agua de las llenadoras hacia condensadores evaporativos y caldera 120

Conclusiones 125

Capítulo VI 128

Recomendaciones 128

Anexo 134

Anexo A. Fotografías sobre el agua residual de los equipos de llenado 134

Anexo B. Fotografías sobre el agua residual de los equipos de proceso 135

Anexo C. Fotografías sobre mediciones de los sellos mecánicos 136

Anexo D. Croquis sobe la propuesta de diseño de reutilización del agua residual . 137

Anexo E. Carta de autorización para uso y manejo de los trabajos finales de graduación. 138

Anexo F. Boleta de presentación formal de trabajos finales de graduación. 140

Índice de tablas

Tabla 1 Tabla de coeficientes de rugosidad de Manning 43
Tabla 2 Pendientes mínimas en los conductos de descarga y colectores..... 43
Tabla 3 Velocidades máximas recomendadas. 46
Tabla 4 Rugosidad de la tubería..... 49
Tabla 5 Variable e indicadores 54
Tabla 6 Mediciones de caudales en bombas de mezclado..... 62
Tabla 7 Mediciones de caudales en bombas y Homogenizadores de proceso 63
Tabla 8 Mediciones de caudales en Llenadoras..... 64
Tabla 9 Muestra del agua residual del aire estéril de la llenadora A3 65
Tabla 10 Variables que afectan el consumo de agua potable..... 66
Tabla 11 Dimensiones de tuberías por corrección de velocidad en el cuarto de llenado. 91
Tabla 12 Datos y dimensión de tubería con desnivel..... 93
Tabla 13 Datos generales para cálculos del diseño de la bomba M1 94
Tabla 14 Datos de la tubería de succión y descarga de la Bomba M1..... 95
Tabla 15 Datos de la Bomba M1 para el sistema. 96
Tabla 16 Variables para la programación de Bomba M1 101
Tabla 17 Datos de la tubería de succión y descarga de la bomba M2 104
Tabla 18 Datos de la bomba M2 para el sistema..... 105
Tabla 19 Variables para la programación de Bomba M2 109
Tabla 20 Costo por m3 de agua potable..... 112
Tabla 21 Costo del consumo de agua potable para las bombas de trasiego 112
Tabla 22 Costo de las piezas de recambio para eliminar el agua de lubricación. 114
Tabla 23 Flujo de caja para la compra de sellos. 114
Tabla 24 Datos para generar el flujo de caja para compra del equipo. 117

Tabla 25 Flujo de caja para la compra de la estación de filtración de aguas residuales para las llenadoras..... 118

Tabla 26 Resumen del flujo de caja a 10 años 118

Tabla 27 Resumen flujo de caja a 24 Años 119

Tabla 28 Costos de la propuesta de diseño en el cuarto de las llenadoras..... 120

Tabla 29 Costos de la propuesta de diseño desde tubería con desnivel-tanque intermedio-silo. 121

Tabla 30 Costo de la propuesta de diseño desde el silo hasta el suministro a condensadores evaporativos y suavizadores de caldera. 122

Tabla 31 Resumen de los costos de la propuesta del diseño 123

Tabla 32 Costos del mantenimiento anual del sistema 123

Tabla 33 Datos para generar el flujo de caja propuesta del diseño..... 124

Índice de Figuras

Figura 1 Consumo de agua potable año 2023 28

Figura 2 Diagrama de Moody 47

Figura 3 Gráfico Pareto elección de equipos por criterio 67

Figura 4 Variables que afectan el consumo de agua potable..... 68

Figura 5 Mediciones de sellos mecánicos Bomba Trasiego U1, a 0,400L/min lubricación del sello. 70

Figura 6 Mediciones de sellos mecánicos bomba trasiego U4, a 0,400L/min lubricación del sello. 71

Figura 7 Mediciones de sellos mecánicos bomba trasiego U7, a 0,400L/min lubricación del sello. 71

Figura 8 Mediciones de sellos mecánicos bomba trasiego U8, a 0,400L/min lubricación del sello. 72

Figura 9 Mediciones de sellos mecánicos bomba trasiego U6, a 3 L/min lubricación del sello. 74

Figura 10 Proceso de selección de sellos mecánicos..... 75

Figura 11 Tabla para seleccionar sello según viscosidad del fluido 77

Figura 12 Tabla para seleccionar sello según temperatura del fluido 78

Figura 13 Despiece de partes bomba Alfa Laval 79

Figura 14 Detalle de sellos mecánicos FSS y SSS..... 80

Figura 15 Agua residual de llenadoras Tetrapak 81

Figura 16 Estación de filtrado de agua de llenadoras Tetrapak 82

Figura 17 Ejemplo de ahorro de agua potable para las llenadoras 83

Figura 18 Diagrama para propuesta de reutilización del agua residual de las llenadoras. 84

Figura 19 Inicio de tubería de 123m con desnivel del 2%..... 85

Figura 20 Tramo de tubería con pendiente 86
Figura 21 Tanque intermedio y bomba M1 86
Figura 22 Tramo de Tubería de descarga bomba M1 87
Figura 23 Tubería de descarga de bomba M1 al silo 88
Figura 24 Diagrama de tubería en cuarto de llenado (Llenadora A6-A8) 89
Figura 25 Detalle de la tubería de drenaje de la llenadora A8. 90
Figura 26 Diagrama de tubería con desnivel. 92
Figura 27 Curvas de Bombas Alfa Laval para selección Bomba M1 98
Figura 28 Curva LKH-10 altura vs Caudal 99
Figura 29 Curva LKH-10 Potencia vs Caudal 100
Figura 30 Grafcet de funcionamiento bomba M1 102
Figura 31 Diseño de tanque intermedio, llegada de agua residual de llenadoras y bomba M1. 103
Figura 32 Curvas de Bombas Alfa Laval para selección Bomba M2 107
Figura 33 Curva LKH-10 altura vs Caudal 108
Figura 34 Curva LKH-10 Potencia vs Caudal 109
Figura 35 Grafcet de funcionamiento bomba M1 110
Figura 36 Costos del agua potable sin estación de filtrado de agua vs con estación de filtrado de agua. 116
Figura 37 Salidas de aguas de una llenadora 134
Figura 38 Salida de agua del sistema de aire estéril 134
Figura 39 Salida de agua residual del sistema de refrigeración 135
Figura 40 Salida de agua residual debajo de la llenadora A3 135
Figura 41 Bombas de trasiego de izquierda a derecha, U7, U8, U4, U1. 136
Figura 42 Medición de sello giratorio 136
Figura 43 Medición de sello estático 136

Figura 44 Diagrama completo para la recuperación del agua residual de las llenadoras 137

Resumen

La industria alimentaria se caracteriza por un alto consumo de agua potable debido a los estrictos estándares de higiene y control necesarios para prevenir la contaminación de los productos. En el caso específico de una planta de bebidas lácteas, el agua es un recurso esencial en todos los procesos. Este proyecto se enfocará en los caudales de los sistemas de lubricación y refrigeración de los equipos de producción, dado que muchos de ellos presentan parámetros fuera del rango óptimo de funcionamiento.

Por ello, se busca analizar estrategias para un uso más eficiente y responsable del agua, sustentado en una investigación sobre las características de las aguas residuales, estrategias de reutilización y el diseño de sistemas de captación y transporte dentro de la planta. El objetivo es generar un proyecto con una base metodológica que sirva para futuras investigaciones sobre la optimización de este valioso recurso hídrico.

Este estudio tiene como propósito evaluar el consumo de agua potable en los sistemas de lubricación y refrigeración de los equipos de producción, con el fin de identificar oportunidades para reducir el desperdicio y minimizar el impacto ambiental. Para ello, se realizará un levantamiento de los equipos que utilizan agua potable en estos procesos, determinando los volúmenes drenados y sus características en comparación con las recomendaciones de los fabricantes en los manuales de operación.

El análisis incluirá la cuantificación del consumo en metros cúbicos y su costo económico, permitiendo evaluar el impacto financiero para la empresa y priorizar los equipos con mayor potencial de mejora en la gestión del agua. A partir de estos datos, se desarrollarán nuevas estrategias orientadas a la reducción y reutilización del recurso hídrico, impulsando proyectos que optimicen su uso dentro de la planta de productos lácteos.

Capítulo I

Introducción

El agua es un recurso esencial para la vida del ser humano y el desarrollo sostenible del planeta, la importancia de este recurso enmarca muchos aspectos, algunos de ellos: bienestar del ser humano, seguridad alimentaria, producción de energía y la preservación del medio ambiente.

Durante el siglo XXI, la relevancia del agua trasciende la mera satisfacción de las necesidades básicas humanas y la producción de alimentos. En este contexto, el agua desempeña un papel crucial al contribuir significativamente a la generación de energía y al bienestar del medio ambiente. Se convierte en un factor fundamental frente a los desafíos del cambio climático.

La gestión adecuada y sostenible de este recurso se rige como una herramienta esencial para asegurar la prosperidad actual y futura de nuestra supervivencia. El agua, siendo una variable clave, no solo impacta directamente en nuestra calidad de vida, sino que también incide, de manera determinante, en la resiliencia de nuestros ecosistemas frente a los cambios climáticos. Por tanto, la preservación responsable y la utilización eficiente del agua se posicionan como imperativos ineludibles para enfrentar los retos ambientales y garantizar un futuro próspero para las generaciones venideras

Es así como nace la responsabilidad de las empresas en buscar estrategias para gestionar mejor el uso y consumo de este recurso, asegurándose de generar un buen impacto al medio ambiente y un desarrollo sostenible, colateralmente se ven

beneficiados con la disminución de los costos de consumo y tratamiento, pero su mayor impacto es la preservación del recurso hídrico.

La industria alimenticia se caracteriza por tener altos consumos de agua debido a sus estrictos estándares de higiene y controles para prevenir la contaminación de los productos, en este caso, específicamente, por ser una planta de bebidas lácteas el agua es un aliado en todos los procesos. Este proyecto se enfoca en los caudales de los sistemas de lubricación y refrigeración de los equipos de producción que se detallan más adelante, pues muchos de estos equipos presentan parámetros fuera del rango de funcionamiento adecuado y, en otros casos, se observa grandes cantidades de agua saliendo por debajo de los equipos de llenado.

Por estas razones se analizan las posibilidades (estrategias/opciones) de un mejor aprovechamiento del recurso hídrico de una manera responsable, sustentado con análisis fisicoquímicos de aguas residuales, estrategias de reutilización y diseños de sistemas para captación y transporte del agua dentro de la planta de productos lácteos, para generar las bases metodológicas de futuras investigaciones referentes a este valioso líquido.

1.1. Área de estudio

1.1.1. Línea temática

Recurso hídrico

1.1.2. Área temática

Uso del recurso hídrico en la industria.

1.1.3. Tema de estudio

Uso del recurso hídrico para lubricación y refrigeración en equipos de la industria alimenticia.

1.1.4. Objeto de estudio

El efecto de la utilización del agua potable en sistemas de refrigeración y lubricación que utilizan los equipos de producción, sobre su disponibilidad, costo y aprovechamiento.

1.2. Situación problemática

En la actualidad, el consumo del agua potable ha aumentado significativamente tanto por el crecimiento de las industrias, como por el incremento de la población mundial, también, su disponibilidad se ve afectada por la contaminación y como efecto del cambio climático.

Todos estos factores impactan directamente sobre la disponibilidad y acceso al agua potable a nivel mundial de tal forma que, un tercio de la población mundial habita en países con escasez de agua. Para el 2025 se espera que la cifra crezca a dos tercios y se estima que, en el 2030, 700 millones de personas podrían tener intensa escasez de agua. (Pacto Mundial ONU)

La escasez de agua es un fenómeno natural, pero el ser humano se ha encargado de maximizarlo, el planeta cuenta con agua dulce para su debido saneamiento y podría proporcionarla a la mayoría de los habitantes, pero existen problemáticas como el desperdicio, la contaminación y la difícil distribución, por lo que se vuelve un recurso difícil de gestionar. Una variable que determina la escasez del agua es el gran incremento de la población, se ha duplicado el número de habitantes en lugares donde ya anteriormente había problemas para proporcionar este recurso; por otra parte, se realizan recortes del suministro de agua constantemente debido a la falta de la infraestructura necesaria para obtener agua de los ríos y acuíferos. (ONU, 2005)

En estos tiempos, gran parte del agua se destina a las empresas que necesitan enormes cantidades para su funcionalidad, pero, en muchos casos, el consumo de agua en la industria no es visto como un costo importante pues cuentan con sus

propios pozos, esto representa un menor desembolso con respecto al pago del servicio de agua proveniente de municipalidades y acueductos.

Dentro de los lugares con mayor consumo de agua se encuentra la industria química, esta representa un 25%; sin embargo, tiene la ventaja de contar con alta tecnología y buenos estándares para poder reutilizar el agua durante sus procesos. La industria de agro alimentos y explotaciones ganaderas representan un 17%, en este caso, el agua es parte del producto final, pero también se emplea en los procesos de lavar y esterilizar. La producción y transformación de metales representa un 13%, esto debido a los sistemas de refrigeración utilizados en los equipos y procesos, con un 17% está la industria de minerales donde se requiere para los sistemas de molienda y sistemas de refrigeración y, por último, está la industria de disolventes orgánicos que representan un 5% necesaria para sus procesos de combustión. (AQUAE Fundación 2023)

En Costa Rica, el 97,8% de la población recibe agua intradomiciliaria, el 18% agua de cañería y el 0,4% se abastece de pozos y nacientes sin protección; el 92,4% recibe agua de calidad potable a través de 2145 acueductos; no obstante, aún existen 557 acueductos que suministran agua no potable. (AyA, 2020)

A pesar de las perspectivas alentadoras para Costa Rica, se han identificado grandes desafíos, según el informe del Laboratorio Nacional de Aguas realizado en el año 2021 en las provincias de San José, Cartago y Alajuela donde se detectaron casos de contaminación en el suministro de agua destinada para el consumo humano, este problema ha afectado a la población de estas zonas, En la provincia

de San José se han emitido múltiples alertas por cortes de agua en algunos distritos debido a los mantenimientos necesarios para potabilizar y distribuir grandes cantidades de agua en estas áreas. Este escenario ilustra de manera clara la relevancia del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) que Costa Rica adoptó en el año 2015, con el objetivo de garantizar la disponibilidad y una gestión adecuada del recurso hídrico.

La disminución de las precipitaciones en los últimos años y, por ende, el aumento de las sequías viene a agravar el problema del agua en Costa Rica; asimismo, el aumento de la deforestación ha agotado fuentes existentes de agua subterráneas, muchos ríos de caudales pequeños se han contaminado con productos químicos, estos provienen, en muchas ocasiones, de granjas o huertas y también por mal tratamiento de aguas residuales de las industrias.

Este trabajo de investigación se realizará en una empresa alimenticia donde el agua potable es parte de todos los procesos de la planta, por tanto, es de gran importancia siempre tener disponibilidad de este recurso, pues sin él no habría funcionalidad, se pondrían en riesgo la inocuidad de sus productos y una mala gestión de este recurso provocaría la saturación de la capacidad de manejo de su planta de tratamiento. Dada la importancia que representa el agua para la empresa, uno de sus objetivos de desarrollo sostenible es hacer un uso responsable del recurso hídrico.

Este proyecto busca analizar los consumos de agua potable en los sistemas de lubricación y refrigeración de equipos de producción ya que estos sistemas consumen agua por largas horas de trabajo, en el caso de las bombas centrífugas el agua está drenando las 24 horas de cada día y no existen parámetros estándar

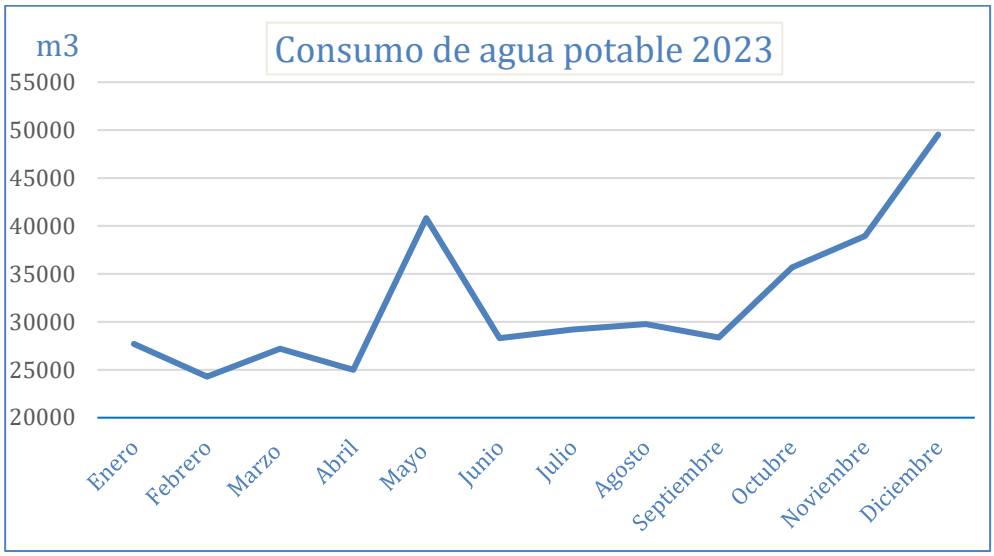
en los sistemas de lubricación ni un control encendido/apagado para el suministro del agua, por lo cual hay caudales excesivos lubricando sellos mecánicos.

En las llenadoras Tetra Pak A3 Flex, los sistemas de refrigeración quedan encendidos para ejecutar su función de enfriar sin que la máquina esté en producción, estas son las situaciones más comunes donde se evidencia la falta de una adecuada gestión del agua en los sistemas de refrigeración y lubricación. Cabe recalcar que en el desarrollo del trabajo se consideran otras variables.

Los equipos del trabajo seleccionados para esta investigación son:; diez llenadoras Tetra Pak de envasado aséptico, diez bombas centrífugas y dos mezcladores, estos equipos tienen algunas deficiencia con respecto al control del agua potable, será necesario analizar la posibilidad de dar un mayor aprovechamiento del agua potable en estos sistemas donde su promedio mensual ronda los 5360 m^3, se pretende una disminución de 2094m^3 pertenecientes a bombas centrífugas y mezcladores y se estudia la posibilidad de reutilizar 3266m^3 provenientes de las llenadoras.

Los datos del siguiente gráfico hacen referencia al consumo en metros cúbicos de agua potable para la planta donde se realiza el trabajo, el consumo se utiliza para labores de lavados de todos los tanques, tuberías de distribución, máquinas de producción, recirculación de agua en los equipos, empujes de producto por medio del agua, lavados de los equipos en su parte externa, lubricación y refrigeración de los equipos que lo necesiten.

Figura 1 Consumo de agua potable año 2023



Fuente: Elaboración propia

En la figura 1, se detalla los consumos de agua potable en metros cúbicos de la planta donde se realiza el análisis, el consumo promedio ronda 28000m^3 mensuales, pero en el gráfico se puede apreciar el incremento tanto en el mes de mayo con un aproximado de 41000m^3 y también en el mes de diciembre con cifras por encima de los 49000m^3 datos preocupantes sobre el uso de este recurso y el costo que conlleva. De momento, no es posible identificar a qué se debe el incremento en estos meses ya que la medición del agua potable solo es monitoreada en la entrada de la planta, por lo cual se dificulta investigar qué pudo haber ocurrido en esos meses para que el consumo de agua potable aumentara.

1.3. Justificación

El trabajo de investigación busca analizar los consumos de agua potable que utilizan los equipos de una planta de productos lácteos en sus sistemas de lubricación y refrigeración, con el fin de analizar las formas de aprovechar el agua residual que drenan estos equipos, esto para reducir el desperdicio de este importante recurso hídrico y así disminuir el impacto ambiental.

La empresa donde se realiza la investigación consta de tres plantas de producción, pero el análisis solamente abarca una planta. Todas las aguas residuales llegan a una misma planta de tratamiento (STAR), en donde los parámetros de operación rondan el 80% de su capacidad; sin embargo, en ocasiones, a inicios de la producción, normalmente los lunes, la capacidad de la misma ha llegado hasta un 95%, siendo esto un indicador alarmante para el corporativo, pues de alcanzar su máxima capacidad no sería posible tratar las aguas residuales y las tres plantas de producción tendrían que detener las operaciones hasta normalizar la capacidad de la planta de tratamiento.

A continuación, se mencionan los equipos de producción y la función del agua en los sistemas de los equipos.

Para el área de llenado se cuenta con: ocho llenadoras Tetra Pak A3 Flex 400 presentación de 1litro, dos llenadoras Tetra Pak A3 Speed 400 presentación de 250 ml y otro equipo en presentación de 200ml, en total diez equipos de llenado, cada equipo tiene un sistema de agua de refrigeración el cual es enfriado por medio de un compresor con gas R134A, en este circuito se encuentra un intercambiador

de placas, donde el agua hace su función de extraer el calor del gas refrigerante y seguido de esto el agua va a drenaje.

Las llenadoras también cuentan con un sistema de aire estéril que es recirculado por medio de una bomba, tipo blower, para generar la presión que lleva la cámara aséptica de la llenadora y de paso extrae los vapores de peróxido de hidrógeno y así, con el anillo de agua que la bomba genera se disminuye la concentración de peróxido de hidrógeno en el aire estéril y proporciona las concentraciones adecuadas dentro de la cámara aséptica.

Para el área de proceso se analizarán los consumos de agua potable de la bombas de trasiego, son cuatro bombas Alfa Laval tipo LKH, este tipo de bomba lleva lubricación en su sello mecánico, dos bombas Alfa Laval tipo Solid-2 también con lubricación del sello mecánico de los equipos Esterilizador U6 y Tanque balance U2, dos sistemas de lubricación de pistones y refrigeración de aceite de Homogenizadores Stork de los equipos Homogenizadores U1 y U2 estos equipos mencionados anteriormente en el área de proceso.

Por último, en el área de mezclado se encuentran dos bombas Alfa Laval tipo Solid-2 y el agitador del Mixer, estos tres puntos son sellos mecánicos lubricados por agua del Mixer 96; dos bombas Fristam del mezclador 61, un agitador del mixer 61 también con su lubricación por agua.

El trabajo de investigación busca analizar todos los consumos de agua de los sistemas de lubricación y refrigeración de los equipos mencionados anteriormente, gracias al análisis se podrá identificar una aproximación de cuánta agua drenan

estos sistemas, estimar el desperdicio que generan y así dimensionar el impacto ambiental que se está generando por la falta de controles o regulaciones. Es relevante tomar acciones que ayuden a reducir el desperdicio o que brinden la posibilidad de reutilizar este recurso.

Se pretende analizar los fisicoquímicos de las aguas a las salidas de los equipos, con el objetivo de identificar las condiciones mínimas necesarias para ser reutilizadas en otro sector de la planta, esto para un mayor aprovechamiento del recurso hídrico, reducir el desperdicio y optimizar la capacidad de la planta de tratamiento.

Por otra parte, se pretende identificar los costos y la cantidad de metros cúbicos consumidos para conocer el impacto económico que representa para la empresa y, a su vez, priorizar los equipos donde hay mayor oportunidad, de esta forma se estaría generando un impacto ambiental, económico y de continuidad del negocio para la empresa.

1.4. Alcance

Esta investigación se enfocará en el análisis de consumo de agua potable en equipos de producción donde el agua tiene como función lubricar sellos mecánicos de bombas centrífugas, agitadoras y enfriamiento de sistemas de refrigeración.

Parte de los equipos por estudiar son diez llenadoras Tetra Pak, estos equipos poseen dos sistemas en donde el agua es utilizada, un sistema de transferencia de calor por medio de intercambiador de placas y otro donde el agua se mezcla con vapores de peróxido de hidrógeno formando un anillo de agua en una bomba, tipo blower de aire estéril de la cámara aséptica, así se disminuye la cantidad de peróxido de hidrógeno del aire estéril, luego, esta agua se envía a un tanque ecológico de la misma máquina donde se mezcla con más agua potable para solamente drenar agua con 1% de peróxido de hidrógeno.

Los sistemas mencionados anteriormente son automatizados, donde el equipo controla el caudal de agua que consume por medio de transductores de presión y flujo, de esta manera se proporciona la cantidad de agua requerida para llenar las necesidades según las variables estériles de la cámara aséptica y la temperatura del agua de refrigeración. Se encuentra que ambos sistemas conducen el agua al drenaje lo que representa un desperdicio, para buscar una solución, se analizan los consumos promediados de agua desperdiciada por equipo, con base en el tiempo de operación de los equipos y las características del agua al salir de estos dos sistemas.

Al analizar las variables mencionadas, se estudian las posibilidades de reutilizar el agua en estos equipos, esto para darle un mejor aprovechamiento.

Por otra parte, se cuenta con diez diferentes modelos de bombas centrífugas, entre sus modelos están; Solid-2, LKH de Alfa Laval y Fristam, estas cuentan con lubricación por agua en el sello mecánico, por lo cual será importante identificar el consumo de agua potable actual de estas bombas para lograr estandarizar nuevos parámetros de control y flujo según fabricante, de esta manera se deben analizar los comportamientos de las bombas antes y después de los cambios para evitar futuras fallas mecánicas de los sellos y de los motores.

Para esta investigación se aplicarán mediciones de corriente del motor, temperaturas de motor, temperatura de los sellos mecánicos, temperatura del agua de salida, flujo de agua de salida y espesor del sello mecánico, estas mediciones se van a realizar antes y después del cambio de parámetros de lubricación, de esta manera, se estudian las variables para establecer nuevos criterios para cambio de sellos ya sea por deterioro o por frecuencia de uso como lo recomienda el fabricante.

Asimismo, en válido medir el desperdicio de agua potable de las bombas centrífugas ya que estas no tienen ningún control del agua que lubrica los sellos, las bombas tampoco tienen control de horas de funcionamiento; por tanto, será oportuno programar la instalación de horímetros a estos equipos para obtener información de calidad.

1.4.1 Limitaciones

En la actualidad, la planta solo tiene un medidor de flujo del agua potable, así el dato que se genere de este dispositivo rige para toda la planta, entonces, cuando

ocurran fugas en el sistema de agua potable por otros sectores será difícil notar una disminución del consumo.

No se utilizará el nombre de la empresa.

No se utilizarán datos de producción del área por lo cual no existen datos de indicadores referentes a la producción.

1.5. Estado del arte

Gestión del agua en la industria alimentaria como estrategia empresarial para disminuir la huella hídrica generada en el desarrollo de su actividad económica

Elaborada por: Paula Andrea Galeano Orozco, 2020

Un proyecto hecho en Colombia explica varias estrategias de reutilización del agua, así como conceptos importantes de las buenas prácticas para disminuir el consumo de agua potable en la industria alimenticia, así como la disminución de la huella hídrica.

(Galeano O, Paula A. 2020)

Para este proyecto se tomarán en cuenta los diferentes destinos que se le dan al agua reutilizada y sus estrategias para disminuir el consumo del agua potable.

Propuesta de un sistema de tratamiento de aguas residuales para su reutilización y reducción de los costos de consumo de agua en la empresa Alpes Chiclayo s. a. c.

Elaborado por: Fátima Wong Sánchez 2021

Un gran proyecto se realizó en la empresa Alpes Chiclayo en Perú. Analizaron todas las aguas residuales de la empresa para establecer los procesos adecuados para tratar el agua y utilizarla según sus características. (Wong, S. 2021)

En este caso, es importante considerar los distintos procesos existentes para tratar el agua residual según sus características.

"*Reducción y reutilización de agua en proceso productivo en la industria química. Propuestas para la gestión del agua de descontaminación*

Elaborado por: Ana Clara Soto, 2019.

Bayer AG en Argentina apuesta por la descontaminación del agua, ya que sus procesos de generar insecticidas y fungicidas crean aguas contaminadas difícil de tratar, han estudiado metodologías de tratamiento y reutilización para lograr descontaminar el agua y lograr utilizarla nuevamente en sus procesos. (Ana Clara, S. 2019)

De este proyecto, se rescata la importancia de la herramienta Six Sigma para asegurar la calidad de la información del proyecto por realizar.

Diseño de un prototipo de reutilización de agua basado en la norma ANSI para reducir el consumo de agua del proceso de elaboración de leche en la empresa Gloria S.A.

Elaborador por: Álvaro Ronald Reyes Aguirre y Einstein Hagler Tello Ramírez, 2022

Para la disminución de consumo de agua potable en una empresa de productos lácteos, La Gloria en Perú, diseñaron un sistema de circuito cerrado para la

reutilización del agua de lubricación de un homogeneizador ahorrando hasta un 98% del agua que el equipo consume al mes, aproximadamente 500 m^3. *Ronald, R. A y Hagler, T. R. (2022)*

Parte del gran apoyo que se puede obtener del proyecto es la metodología con la cual realizaron el diseño del prototipo para reutilizar el agua en el sistema de enfriamiento del homogeneizador.

Evaluación de la huella de agua y la gestión del recurso hídrico en las industrias

Elaborado por: Eduard Ríos Badilla, Paulo Boj Coti y Carolina Alfaro Chinchilla, 2022

Una revista de la UNED comenta un poco sobre empresas en Costa Rica que han tenido buenos resultados con respecto a la huella hídrica, la revista da mucha importancia a la normativa ISO 14046, evaluación de la huella hídrica. (Eduard, R.B. Paulo, B.C. Carolina, A.C. 2022)

El aporte de este trabajo será la norma ISO 14046, los conceptos, principios y metodologías

Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales mediante la reutilización del agua para reducir su consumo en Servientrega S.A

Debido a la problemática, en relación con el consumo de agua potable, la empresa Servientrega opta por analizar un posible diseño de tratamiento de aguas residuales para su reutilización. La muestra de agua residual será la que indica el tipo de tratamiento para su reutilización con un costo de $32.432,43 de inversión. (José, S.S. 2022)

Este trabajo ofrece datos sobre los métodos de investigación y el tipo de investigación, es un apoyo valioso ya que tiene una similitud con el planteamiento de la presente propuesta.

Diseño de un sistema de reutilización de aguas residuales tratadas en el Camal Municipal de Guayaquil

El proyecto busca la disminución del consumo del agua potable, por medio de un diseño para aprovechar el agua ya tratada, reutilizándola en distintos procesos. Según el estudio, se puede reutilizar el 31% siendo esto un porcentaje significativo de ahorro para Camal Municipal de la Ciudad de Guayaquil. (Marcos, C.O. Joyce, A.P. 2023)

El proyecto anterior pone énfasis en la calidad y gestión adecuada de los datos encontrados ya que el análisis de la propuesta se basa en información recopilada. Esta investigación es un gran aporte para el desarrollo del proyecto.

Diseño de una tecnología para tratar el agua residual de Cervecería

Se realizó un análisis en una cervecería en Cuba donde se logró identificar que había agua altamente contaminada vertiéndose sobre el rio Yarayó, proceden a realizar el análisis de las aguas para identificar cuales tratamientos se deben aplicar para solucionar dicho problema. (Telvia, A.L. Yaritza, R.V)

El artículo anterior menciona una metodología de recolección de muestras de agua y la importancia del cuidado para no alterar las muestras como también datos de caracterización del agua residual que se tomarán en cuenta para el presente proyecto.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Analizar el impacto al disminuir el uso de agua potable, en los sistemas de lubricación y refrigeración de los equipos, por medio de análisis de los caudales desperdiciados y las posibilidades de la reutilización del agua, para la generación de propuestas para la optimización del recurso hídrico, en una planta de bebidas lácteas en Alajuela, durante el primer semestre de 2024.

1.6.2. Objetivos específicos

Elaborar un diagnóstico sobre la forma de utilizar el agua en los sistemas de lubricación y refrigeración para conocer el estado actual del consumo de agua al medir los flujos de salida en los equipos de producción.

Realizar un estudio financiero de las posibles alternativas para la reutilización de las aguas residuales de los equipos y para la optimización del agua potable.

Planear las estrategias de reutilización del agua según los parámetros de un estudio de laboratorio de las aguas residuales de los equipos de producción para la disminución del desperdicio del agua potable.

Analizar los consumos y las temperaturas de las bombas que tienen lubricación

del sello mecánico por agua, por medio del cambio de los parámetros del uso del agua potable, para evitar posibles daños en las bombas y disminuir los desperdicios del agua que se utiliza en los sellos mecánicos.

Capítulo II

Marco teórico

2.1. Aguas en la industria

El agua es un recurso de vital importancia para todas las industrias y máxime cuando se habla de la industria de alimentos ya que, por el tipo de procesos y seguridad de los alimentos debe asegurarse producir con variables inocuas y de limpieza estricta por lo cual el abastecimiento del agua es una prioridad.

Normalmente, en la industria láctea se consumen grandes cantidades de volumen de agua, esto por sus procesos de limpieza y desinfección que conllevan los equipos, se debe asegurar condiciones sanitarias e higiénicas óptimas para la producción.

En la actualidad, se le da gran importancia a este recurso hídrico, debido a eventualidades como contaminación y desabastecimiento, entre otros, por lo cual, el ser humano ha optado por buscar la forma de reutilizar las aguas residuales de las industrias ya que, por sus procesos, tienden a consumir grandes cantidades sin importar su costo, pues el mayor problema de una industria sería quedarse sin el suministro de agua y detener sus procesos de producción.

2.2. Cálculos de dimensiones de tubería en canales abiertos o tuberías circulares

Según el código hidráulico de instalaciones existen dos métodos para realizar el cálculo de dimensionamiento de tuberías para agua residuales.

2.2.1. Primer método

Se calcula de forma similar para el abastecimiento de agua potable, estos mismos se diseñarán bajo el concepto de caudal máximo probable, se toma en cuenta la cantidad de accesorios sanitarios que existen en la instalación y se le asigna un valor mediante unidades de descarga de aparatos sanitarios, a cada valor se le asigna un volumen promedio descargado que, en conjunto con la duración de descarga y la frecuencias de usos de los aparatos sanitarios, se puede llegar a identificar el volumen total de la instalación. (Código de instalaciones hidráulicas, 2017)

2.2.2. Segundo método

Este método se basa en tablas donde se relaciona la cantidad de aparatos sanitarios que pueden descargar en una tubería especifica, por medio de estas tablas se especifican cuantas cargas máximas y mínimas son permisibles según diámetro y pendiente del colector, cantidad de sifones que permite una tubería principal y bajantes de una instalación. También existen algunas recomendaciones para diámetros mínimos. (Código de instalaciones hidráulicas, 2017)

2.2.3. Pendientes y velocidades

Se recomiendan varios detalles sobre las pendientes y velocidades en tuberías horizontales de los colectores primarios y secundarios.

a. La velocidad del fluido debe rondar los 0,6 y 2,5 m/s en canales abiertos o conductos.
b. Se estima que, para el caudal de diseño, la descarga se calcula para llenar la mitad del conducto y en casos donde la edificación tenga varios pisos, se calcula con el llenado de ¾ partes de la tubería en condiciones de flujo uniforme.
c. El diámetro del conducto horizontal no puede ser menor que el diámetro u orificio que descarguen sobre él.
d. Se toma en cuenta la siguiente fórmula para la estimación del diámetro y pendiente requerida.

Fórmulas de Manning para el cálculo de Caudal en una tubería.

$$Q = \frac{1000}{\eta} * AM * RH^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Donde;

Q: Caudal de diseño del colector en L/s

n: coeficiente de rugosidad de Manning ver Tabla 1

AM: Área mojada en m^2

RH: Radio hidráulico (m)

S: pendiente del conducto (m/m)

Fórmulas para el cálculo de Área mojada y Radio hidráulico en conductos

circulares.

Para sistemas donde la descarga alcanza la mitad del conducto

$$AM: \frac{\pi * d^2}{8} \qquad RH: \frac{d}{4}$$

Para sistemas donde la descarga alcanza ¾ del diámetro del conducto

$$AM: \frac{d^2}{8} * \left(\frac{\pi}{3} + \frac{\sqrt{3}}{8} \right) \qquad RH: \frac{d}{4} * \left(1 + \frac{3*\sqrt{3}}{8\pi} \right)$$

Tabla 1 Tabla de coeficientes de rugosidad de Manning

Material	Coeficiente de Manning		
	Mínimo	Medio	Máximo
Hierro fundido	0,011	0,014	0,016
PVC y PE	0,009	0,010	0,012
Hierro galvanizado	0,013	0,016	0,017
Concreto	0,011	0,013	0,014
Arcilla vitrificada	0,011	0,014	0,017
Tubería ADS (PE corrugado)			
75 mm a 250 mm	0,015	0,016	0,017
300 mm a 600 mm	0,018	0,019	0,020

Fuente: Código instalación hidráulica, 2017

Tabla 2 Pendientes mínimas en los conductos de descarga y colectores.

Diámetro (mm)	Pendiente mínima (%)
50	2,0
75	2,0
100	1,5
150	1,0
200	1,0

Fuente: Código instalación hidráulica, 2017

2.2.4. Algunos requisitos importantes

Tubería al aire

No se deberán instalar tuberías debajo de escaleras o elevadores ni cerca de ventanas o puertas donde puedan afectar la integridad del conducto.

Se deben instalar conductos lo más rectos posibles manteniendo pendientes uniformes, esto para no afectar la velocidad del fluido.

No se permite instalar tubería de desagüe por encima de tanques de suministro de agua, pisos donde se preparen, empaquen, almacenen o exhiban alimentos.

Conexiones

Cada conexión de un aparato al conducto principal debe instalarse en la mitad superior o en la porción de espacio libre, esto para evitar el retroceso del flujo de los conductos.

Los cambios de dirección horizontales de los desagües se deberán hacer en uniones Y de 45˚, codos de curva abierta de 60˚, 45˚ o 22,5˚ o combinaciones similares a las mencionadas anteriormente.

Los cambios de flujo de horizontal a vertical se pueden hacer por medio de uniones T sanitarias, codos de 45˚, uniones Y de 45˚ y codos de 90˚ sencillas o dobles.

Para los cambios de flujo de vertical a horizontal se recomiendan codos de 90˚ de radio corto, cuando el diámetro sea mayor a 75mm se usarán codos de radio largo, codos de 45˚ y uniones Y de 45˚

Accesorios prohibidos

Las uniones T rectas a 90˚ en cualquier conducción de flujo de desagüe, uniones dotadas de campana ubicadas en dirección opuesta, las uniones T rectas en cambio de flujo horizontal-horizontal; en este caso, se pueden instalar cuantos codos de 45˚ sean necesarios.

2.3. Cálculos de velocidad

La velocidad de los fluidos en una tubería es una variable importante de considerar ya que con esta se dimensionan las tuberías en conjunto con los criterios de diseño, para las tuberías de distribución de agua según el código de instalaciones hidráulicas es recomendable usar un mínimo de 0,6 m/s, de esta manera se evitan sedimentaciones de partículas y una velocidad máxima de 2 m/s para evitar los golpes de ariete y ruidos excesivos en la tubería. (Código de instalaciones hidráulicas, 2017)

$$v = \frac{4 * Q}{\pi * D^2}$$

La velocidad se obtiene de la ecuación anterior donde *4* es una constante de la ecuación *Q* caudal de diseño, *D* es el diámetro interno de la tubería y π la constate conocida.

Tabla 3 Velocidades máximas recomendadas.

Diámetro nominal (mm)	Velocidad Máxima (m/s)			Caudal Máximo (Litros/s)			Gradiente Hidráulico [3] (mca/m)	
	PVC [1]	H.G [2]	CPVC	PVC	H.G	CPVC	PVC	H.G
12	1,34	1,30		0,35	0,30		0,138	0,173
18	1,53	1,47	1,11	0,67	0,55	0,13	0,130	0,163
25	1,71	1,67	1,35	1,17	1,04	0,35	0,123	0,153
32	1,92	1,91		2,09	2,04		0,116	0,143
38	2,00	2,00		2,85	2,80		0,106	0,132
50	2,00	2,00		4,45	4,58		0,082	0,099
62	2,00	2,00		6,52	6,29		0,065	0,082
75	2,00	2,00		9,66	10,48		0,052	0,061
100	2,00	2,00		15,97	17,65		0,039	0,045

Fuente. Código instalaciones hidráulicas

La tabla 3 hace referencia a las velocidades máximas permitidas para distintos diámetros de tubería de PVC y hierro galvanizado, también detalla los caudales máximos de diseño, son recomendaciones del Código de instalaciones hidráulicas.

2.4. Pérdidas menores en tuberías

Las pérdidas de energía de un fluido son proporcionales a la velocidad del mismo, mientras este se desplaza por la trayectoria de tubería, y al pasar por todos los accesorios se generan estas pérdidas que son expresadas con un coeficiente de resistencia K. (Robert Mott)

$$hL = k\left(v^2/_{2g}\right)$$

Como se muestra en la fórmula anterior *hL* indica la pérdida que existe *K* en coeficiente de fricción y v la velocidad del fluido en el sistema, el coeficiente de fricción *K* es adimensional ya que existe proporcionalidad entre la velocidad y la pérdida de energía, la magnitud del coeficiente dependerá de la geometría del

accesorio que va a ocasionar la pérdida del fluido.

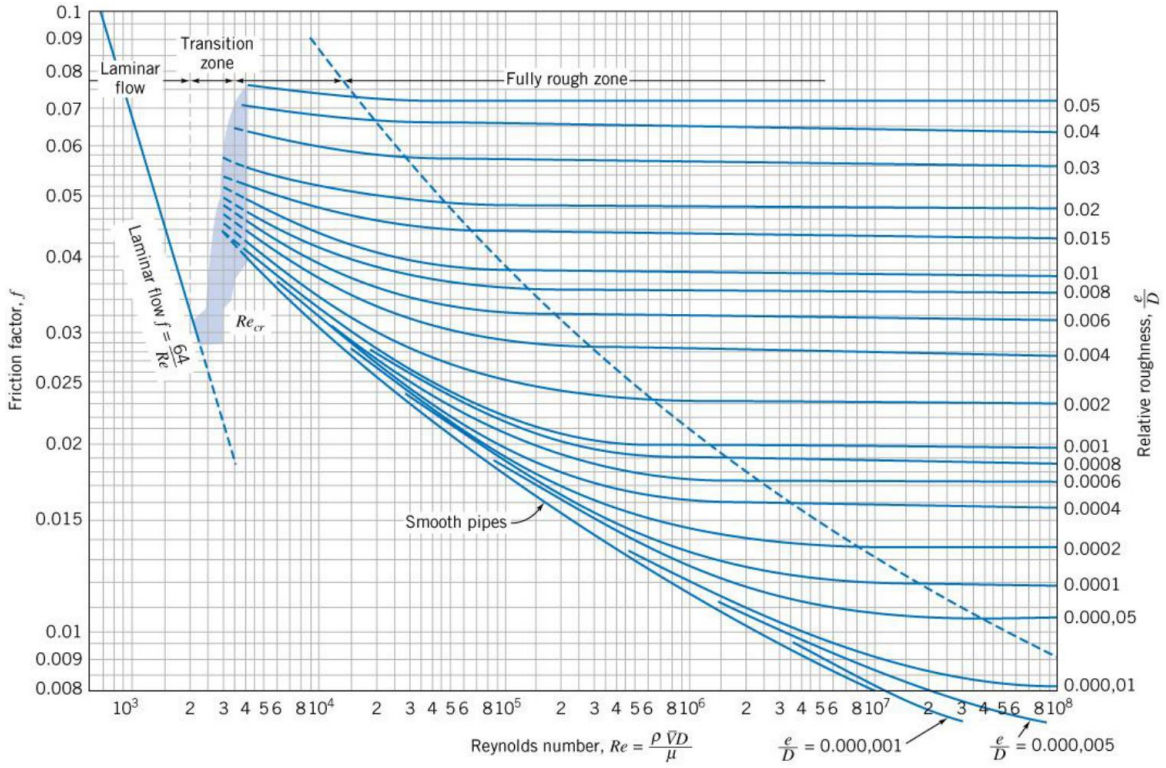
2.5. Coeficientes de resistencias para válvulas y acoplamientos

Existen muchos tipos de válvulas y acoplamientos de distintos diámetros, ángulos y de distintas geometrías, así, se emplea un coeficiente de fricción para la mayoría de accesorios ya que todo cambio de dirección, reducción o ampliación del fluido genera una resistencia al fluido que se transporta.

$$k = (L_e \,/\, D) f_t$$

Donde *Le* determina la longitud equivalente de tubería en tubería recta del mismo diámetro, se puede determinar que es la fricción de un accesorio expresada en longitud de tubería, D es el diámetro interno de la tubería y ft es la fricción que existe entre la tubería y las conexiones de válvulas o acoplamientos en el sistema, para ello se utiliza el diagrama de Moody. (Robert Mott, Cap.10)

Figura 2 Diagrama de Moody



Fuente. Código instalaciones hidráulicas

En el diagrama de Moody se observan una serie de datos: número de Reynolds es el comportamiento del fluido dentro de la tubería y la rugosidad relativa del material de la tubería seleccionada, la interpretación de estos datos en dicho diagrama da como resultante el factor de fricción que se genera en la tubería.

Tabla 4 Rugosidad de la tubería

Tipo de Tubería	Rugosidad ε (mm)	
	Rango	Diseño
PVC, PE		0,0015
Cobre		0,0015
Hierro fundido		
nuevo		0,26
Con revestimiento de asfalto	0,06-0,20	0,12
oxidado	1,00-1,50	
Con incrustaciones	1,50-3,00	
centrifugado		0,05
Hierro galvanizado	0,06-0,25	0,15
Acero soldado		
nuevo	0,03-0,10	0,046
Con revestimiento de asfalto	0,01-0,02	0,015
con corrosión ligera	0,10-0,20	
con corrosión fuerte	1,00-3,00	
Acero remachado	0,90-9,10	1,83

Fuente. Código instalaciones hidráulicas.

Rugosidad relativa de distintos materiales para la fabricación de las tuberías, este factor depende del acabado que se logre en la parte interna de la tubería por lo que se pueden generar protuberancias y malformaciones internas cuando la tubería es fabricada, de esta manera se determina un coeficiente de rugosidad para determinar las pérdidas por rozamientos en las tuberías.

2.6. Numero de Reynolds

El número de Reynold es la relación entre la fuerza de inercia sobre un elemento o un fluido a la fuerza viscosa, así, la fuerza de inercia es desarrollada por la segunda ley de movimiento de Newton. (Robert Mott cap.8)

Se puede decir que un número de Reynolds elevado consiste en una velocidad elevada en conjunto con una baja viscosidad, a esto se le llama flujo turbulento, por otra parte, los fluidos con alta viscosidad y que se muevan a baja velocidad el

número de Reynolds es bajo por lo que se comporta como flujo laminar.

Par cuantificar los valores de números de Reynolds se tiene que, el flujo laminar debe ser menor a 2000 y cuando el número supera los 4000 el flujo se considera turbulento, cuando el número de Reynolds se ubica entre 2000 y 4000 es impredecible el tipo de flujo existente por lo cual se le llamará rango crítico, en el caso de llegar a obtener un resultado en la zona critica es preferible cambiar algún diámetro o la taza de flujo que existe en el sistema, para generar un cálculo más preciso ya sea laminar o turbulento.

$$N_R = \frac{vD\rho}{\eta}$$

Donde la ***v*** muestra la constante de velocidad de fluido, ***D*** el diámetro de la tubería que se está utilizando ρ la densidad del fluido y ***η*** la viscosidad dinámica del fluido.

2.7. Cálculos para selección de la bomba

La selección de una bomba depende de variable de datos numéricos y datos del diseño de la aplicación que va a cumplir dicha bomba, para este estudio se tiene que impulsar un líquido a través de un sistema de tuberías. (Robert Mott cap.13)

$$h_a = \frac{p_2 - p_1}{\gamma} + z_2 - z_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + h_L$$

Donde la ecuación contiene variables importantes como *ha* que llega a ser la carga total sobre la bomba, en otros casos también se le llama carga dinámica total del sistema.

Resulta necesario tener en cuenta algunos conceptos como base, uno de ellos es la ecuación general de la energía.

Las bombas, según la fórmula, deben elevar la presión del fluido, como muestra P_1 punto de inicio hasta el punto de destino P_2.

Debe darse un aumento en la velocidad del fluido por transportar, se inicia en la sección y termina en la impulsión de la bomba.

Otro aspecto importante por considerar son los accesorios, válvulas y longitudes de tuberías donde la turbulencia genera las pérdidas por fricción por donde el fluido pase, de tal manera que se logra obtener la carga dinámica del sistema o como lo indica la fórmula ***ha.***

Para esto también es importante las alturas en el sistema z_1 es la primera altura de donde se obtiene el fluido y z_2 la altura de destino del fluido.

Con las distintas variables de cálculos se puede obtener la potencia aplicada al fluido con la siguiente ecuación.

$$Pa = Q\ x\ ha\ x\ \rho \times g$$

Donde ***Q*** sería el caudal, ***ha*** como se ha detallado anteriormente como la carga total del sistema ρ densidad del fluido por trabajar y ***g*** la constante gravitacional, de esta manera se obtiene la potencia aplicada al fluido para la selección de la bomba

y como último paso se debe calcular la potencia al motor dependiendo de la eficiencia de la misma bomba que siempre será un valor porcentual dado que la ecuación se presenta así:

$$W = Pa\ x\ \eta$$

Siendo ***W*** la potencia de entrada, ***Pa*** la potencia aplicada al fluido y η la eficiencia de la bomba.

2.8. Términos financieros

2.8.1. Valor actual neto (VAN)

También conocido como el Valor actual neto, representa unos de los indicadores financieros más conocidos para análisis de inversiones en los proyectos junto con el TIR, en este caso, el VAN se estima mediante la actualización de los flujos de caja de los resultantes de gastos e ingresos futuros de un proyecto en un tiempo determinado en conjunto con una tasa de descuento del proyecto.

El análisis de este valor consiste en conocer qué tan positivo es, cuanto más elevado sea el valor, la rentabilidad del proyecto es más seguro, cuando se tiene un VAN muy cercano a cero o negativo quiere decir que el proyecto no es viable porque los resultantes de flujos de caja de ingresos y egresos no son los que se espera para que el proyecto sea sostenible.

2.8.2. Taza interna de retorno (TIR)

Se resume es sus iniciales, es una taza interna de retorno de la inversión, es uno de los métodos más aplicados para el análisis de las posibles inversiones sobre proyectos, normalmente, se utiliza para estudiar la viabilidad de un proyecto de tal forma que indica el beneficio de dicha inversión.

Al utilizar el TIR se estima un flujo de caja neto, donde se tabula la información por una frecuencia de tiempo en la cual se quiere llevar a cabo el proyecto, de tal forma que el TIR abarque la totalidad de la frecuencia proyectada para obtener un porcentaje de beneficio o pérdida de la inversión realizada.

2.8.3. Periodo de recuperación (PR)

El periodo de recuperación se refiere a la cantidad de tiempo donde la inversión inicial se logra recuperar por medio de los flujos de caja generados del proyecto, la inversión se recupera cuando los flujos de caja sean superiores a la inversión inicial del proyecto, este indicador no es recomendado analizarlo como único indicador, ya que solamente contempla un dato de tiempo, en cambio, un análisis de flujo de caja conlleva indicadores más importantes como lo son el VAN y TIR.

Capítulo III

Marco metodológico

3.1. Hipótesis

¿Se puede disminuir el desperdicio de agua potable que se utiliza en equipos de llenado y bombas centrífugas?

¿Se puede reutilizar el agua que requieren los equipos para la lubricación y refrigeración de sistemas?

¿Qué impacto podrá generar el cambio de parámetros de lubricación sobre los sellos mecánicos de las bombas?

3.2. Tipo de investigación

El tipo de investigación es descriptiva y cuantitativa, descriptiva porque define una realidad que se vive con respecto al tema sobre la problemática del agua y cuantitativa, porque se analizan datos que se toman en el campo sobre caudales y características de los mismos, tiempos de funcionamiento de los equipos, esto para demostrar las posibilidades de reutilización del agua y la disminución del desperdicio.

Tabla 5 Variable e indicadores

Objetivos	Variables	Dimensión	Indicador
Analizar el impacto al disminuir el uso de agua potable, en los sistemas de lubricación y refrigeración de los equipos, por medio de análisis de los caudales desperdiciados y las posibilidades de la reutilización del agua, para la generación de propuestas para la optimización del recurso hídrico, en una planta de bebidas lácteas en Alajuela, durante el primer semestre de 2024.	Composición química Físicas	Dureza Conductividad Hierro Sólidos Turbiedad Acidez Caudales Temperaturas	Mg/L uS/m mg/L ppm NTU Ph m^3 /h °C
Elaborar un diagnóstico sobre la forma de utilizar el agua en los sistemas de lubricación y refrigeración para conocer el estado actual del consumo de agua al medir los flujos de salida en los equipos de producción.	Físicas	Caudales Temperatura	m3 /h °C
Realizar un estudio financiero de las posibles alternativas para la reutilización de las aguas residuales de los equipos para un mejor aprovechamiento del agua potable.	Financiero	Rentabilidad de Inversiones	TIR VAN PR
		Dureza	Mg/L

Planear las estrategias de reutilización del agua según los parámetros de un estudio de laboratorio de las aguas residuales de los equipos de producción para disminuir el desperdicio del agua potable. .	Composición química Físicas	Conductividad Hierro Sólidos Turbiedad Acidez Caudales Temperaturas	uS/m mg/L ppm NTU Ph m3 /h °C
Analizar los consumos y temperaturas de las bombas que tienen lubricación por agua al sello mecánico, por medio del cambio de los parámetros de lubricación, para evitar posibles daños en las bombas y disminuir el desperdicio de agua en la lubricación de sellos mecánicos.	Propiedades eléctricas Propiedades físicas	Consumo Eléctrico Temperaturas Medición de espesor del sello	Amperios (A) °C Milímetros (mm)

Fuente: Elaboración propia

3.3. Muestra

La muestra es seleccionada por medio de criterios con respecto al uso del agua potable que utilizan los equipos para su funcionamiento, especialmente, para lubricación y refrigeración de sistemas, se mencionan los equipos y luego variables que se tomaron en cuenta para crear una matriz de criterios.

Para la siguiente investigación se tomarán en cuenta alrededor de diez bombas centrífugas alfa Laval, dos sistemas de lubricación de pistones y enfriamiento de aceite de Homogenizadores, dos sistemas de lubricación de agitadores y los sistemas de enfriamiento y lubricación de bombas de aire estéril de diez llenadoras

Tetra Pak.

En el caso de las llenadoras Tetra Pak constan de dos sistemas que utilizan el agua, parte de refrigeración y aire estéril. Estos sistemas botan el agua a drenaje después de ser usada y su flujo de salida ronda entre los 1200 L/h por cada máquina cuando permanece en producción, siendo una cifra importante, también se debe contemplar que los equipos están programados para trabajar 24 horas continuas.

Este proyecto busca analizar todos los consumos de agua potable de estos equipos, hay cantidades importantes de agua que no tienen control como el caso de las bombas y en el caso de las llenadoras el agua solo pasa por sistemas cerrados donde la contaminación puede ser mínimo, por tanto, lo que se pretende es buscar soluciones de reducción de consumos de agua en estos equipos y analizar las posibilidades de reutilizarla.

Se escogen estos equipos ya que, en sus sistemas, donde se utiliza el agua potable, esta no tiene contacto con otros fluidos, químicos ni sistemas de lavado, solamente atraviesa los sistemas de refrigeración y lubricación, por esta razón, el agua de salida de los sistemas no debería estar tan contaminada como en procesos de lavado o empuje de productos donde el agua potable termina siendo muy contaminada y recuperarla conlleva tratamientos muy costosos.

3.4. Metodología

1) Diagnóstico de la situación actual; estado de los equipos por estudiar, edad de estos, metodología de mantenimiento, horas de operación de los equipos en todo el año 2023, caudales de agua que utilizan los equipos, análisis del agua al salir de los sistemas de lubricación y refrigeración, toda esta información es de suma importancia para comparar resultados después de los cambios que se logren efectuar.

2) Puntos de enfoque que puedan afectar los caudales de los sistemas de lubricación y refrigeración, por lo cual se creará una matriz de criterios, donde se puedan categorizar las variables que tienen mayor importancia para los consumos de agua potable en los equipos, para, finalmente, dar un mejor enfoque a las variables de mayor impacto por medio del análisis de un diagrama de Pareto.

3) Toma de muestras de agua en la salida de los equipos, en las llenadoras una muestra del sistema de lubricación y otra muestra en el sistema de refrigeración, esto en la llenadora con mayor tiempo de producción, de igual forma se tomará la muestra en los sistemas de lubricación del sello mecánico de la bomba más antigua de la planta.

4) Análisis fisicoquímico del agua, por medio del laboratorio de las muestras tomadas de las salidas de los equipos, esto para determinar la viabilidad de reutilización y tratamiento.

5) Establecer nuevos parámetros de lubricación por agua en los sellos mecánicos de las bombas centrífugas según especificaciones del fabricante de cada equipo y realizar cambios en los programas eléctricos para un mejor control sobre el agua de las lubricaciones.

6) Analizar las variables de temperaturas, consumos y estado del sello mecánico de las bombas con sus nuevos parámetros, esto para evitar posibles fallos a futuro y corroborar que los cambios efectuados funcionen bien. En este paso, se aplican mediciones de temperatura por medio de pistola laser y cámara termográfica tanto en el sello como en el motor, también, el consumo de corriente del motor, estas medidas se tomarán con el caudal de lubricación actual de las bombas de 1,5 l/m a 2 l/m con mediciones de espesor del sello mecánico; seguidamente, se cambiarán los parámetros de caudal de lubricación entre 0,250 l/m a 0,400l/m especificaciones del fabricante de las bombas y se realizarán las mismas mediciones. Con los datos recolectados se efectúa el análisis para conocer del estado del sello mecánico y establecer metodologías de recambio de los sellos mecánicos.

7) Proponer un diseño electromecánico que cumpla con las características necesarias para captar y filtrar las aguas de lubricación y refrigeración de las llenadoras, a la vez, conocer cotizaciones con distintos proveedores.

8) Realizar el análisis financiero que conlleva la compra de un equipo para la captación y filtración de agua de los sistemas de las llenadoras por recomendación del proveedor representante de los equipos.

9) Capacitaciones a operadores de los equipos de llenado, detallar cuáles son los pasos recomendados para dejar la máquina inactiva después de producción o lavado de equipos, esto porque, en muchas ocasiones, los equipos, al terminar los lavados, quedan preparadas para la siguiente producción, estos equipos no se van a utilizar y al quedar en este paso de preparación mantienen la unidad de refrigeración encendida, por lo tanto, hay consumo de agua potable todo el tiempo de inactividad del equipo.

10) Propuesta ingenieril, tomando en consideración las nuevas recomendaciones, las estrategias con los respectivos planteamientos administrativos respecto de los sectores y sistemas donde se pueda hacer uso del agua residual.

11) Determinación de costos y retornos de inversión.

Capítulo IV

Presentación de análisis de resultados

Se recolecta la información con respecto a los equipos que utilizan agua potable para la lubricación y refrigeración de sistemas de equipos de producción, esto para identificar, por sectores de la planta, cuáles son los equipos y las características de funcionamiento de los mismos.

4.1. Mediciones de caudales por áreas

4.1.1. Mediciones de caudales en el área de mezclado

Tabla 6 Mediciones de caudales en bombas de mezclado

Equipo	Caudal (L/min)	m^3/h	Total, en m^3 al mes	Total, en m^3 al año
MezcladorT61	4	0,24	174,59	2095,03
Bombas T60	5	0,30	218,23	2618,78
Bomba salida M96	5	0,30	218,23	2618,78
Bomba Entrada M96	3	0,18	130,94	1571,27
Mezclador 96	3	0,18	130,94	1571,27
Suma	**20,000**	**1,20**	**872,9**	**10475,14**

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 6, se muestran los equipos del sector de mezclado, estos utilizan el agua potable para la lubricación del sello mecánico en bombas centrífugas y para enfriamiento de rodamientos en el caso de los mezcladores, se midieron los caudales de agua a la salida de cada uno de los equipos y se obtuvo un total de 10475,14 m3 al año, este resultado corresponde a los equipos tabulados de la tabla anterior, los mismos no tienen ningún control de flujo ni de encendido y apagado de su lubricación de sello, por lo cual, el agua pasa y lubrica siempre los sellos sin

importar si los equipos están detenidos o funcionando, otra deficiencia que presentan estos equipos es la inexistencia de un control de tiempo de producción por lo cual, se dificulta tratar de calcular escenarios de mejora con respecto al tiempo de operación.

4.1.2. Mediciones de caudales en el área de proceso

Tabla 7 Mediciones de caudales en bombas y Homogenizadores de proceso

Equipo	Caudal (L/min)	m^3/h	Total, en m^3 al año
Bomba de trasiego U1	1,50	0,090	785,64
Bomba trasiego U4	1,50	0,090	785,64
Bomba trasiego U7	2,00	0,120	1047,51
Bomba trasiego U8	2,00	0,120	1047,51
Bomba tanque balance U2	3,00	0,180	1571,27
Bomba esterilizador U6	3,00	0,180	1571,27
Lubricación Homo U2	10,00	0,600	5237,57
Lubricación Homo U1	9,00	0,540	4713,81
SUMAS	**29,00**	**1,920**	**16760,22**

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 7, se muestran algunos equipos del área de proceso: seis bombas centrífugas Alfa Laval con lubricación del sello mecánico y dos Homogenizadores Stork con refrigeración en los pistones, de igual forma, se midieron los caudales a la salida del drenaje de los equipos, tomando en cuenta que estos equipos drenan agua las 24 horas al día se encuentra que en el año 2023 consumieron alrededor de 16760,22 m3 de agua potable para su respectiva función de lubricar y refrigerar componentes de los equipos, cabe recalcar que esa cantidad de agua es el consumo calculado en un año sin ningún control del agua de lubricación, por ende, estos caudales de agua son vertidos a drenaje sin importar las condiciones de

funcionamiento, esto permanece así desde la instalación de los equipos.

4.1.3. Mediciones de caudales en el área de llenado

Tabla 8 Mediciones de caudales en Llenadoras

Equipo	Equipo	Caudal medido (L/min)	Caudal medido m3/h	Horas de trabajo 2023	Total m3 del 2023
Llenadora A1	Agua de aire estéril	8	1,38	3125,00	4312,50
	Sistema de enfriamiento	15			
Llenadora A2	Agua de aire estéril	8	1,38	3116,00	4300,08
	Sistema de enfriamiento	15			
Llenadora A3	Agua de aire estéril	8	1,38	3096,00	4272,48
	Sistema de enfriamiento	15			
Llenadora A4	Agua de aire estéril	8	1,38	2606,00	3596,28
	Sistema de enfriamiento	15			
Llenadora A5	Agua de aire estéril	8	1,38	2351,00	3244,38
	Sistema de enfriamiento	15			
Llenadora A6	Agua de aire estéril	8	1,38	2447,00	3376,86
	Sistema de enfriamiento	15			
Llenadora A7	Agua de aire estéril	9	1,44	2564,00	3692,16
	Sistema de enfriamiento	15			
Llenadora A8	Agua de aire estéril	8	1,38	3462,00	4777,56
	Sistema de enfriamiento	15			
Llenadora S1	Agua de aire estéril	10	1,62	2179,00	3529,98
	Sistema de enfriamiento	17			
Llenadora S2	Agua de aire estéril	10	1,56	3031,00	4728,36
	Sistema de enfriamiento	16			
Total		**238**	**14,28**	**27977,00**	**39830,64**

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 8, se incluyen los equipos de llenado que utilizan el agua para su respectiva función de lubricar y refrigerar, cada máquina cuenta con un sistema de aire estéril y otro de refrigeración de agua que son drenados a piso, se tomaron mediciones de los caudales del sistema de refrigeración y del sistema de aire estéril y se obtiene un aproximado por máquina de 1,45 m3/h cuando la máquina está en producción, en algunas ocasiones, todos los equipos están produciendo al mismo

tiempo por lo cual estas máquinas estarían generando 14,28 m3/h, pero este dato puede variar dependiendo del programa de producción para cada día. En la misma tabla, también se adjuntan las horas de producción de cada equipo durante el año 2023, de esta manera, se calculó el caudal de cada llenadora por el año completo y así poder obtener la sumatoria de volumen de agua desechada al drenaje, este alcanza los 39830,64 m3 para el año 2023, solo cuando los equipos están en producción.

4.1.3.1. Muestreo de agua residual llenadora A3

Tabla 9 Muestra del agua residual del aire estéril de la llenadora A3

Parámetro Físico - Químico	Cantidad	Unidades
Conductividad	224	µS/cm a 25˚C
Acidez	6,76	ph
Sólidos Totales	170	mg/L
Turbidez	0,2	NTU
Metales totales		
Calcio	14	mg/L
Dureza total	68	mg/L CaCO3
Hierro	<0,00100	mg/L
Magnesio	7,8	mg/L
Peróxido de Hidrógeno	1	%

Fuente: Recuperado de análisis de AGQ Labs Costa Rica

La Tabla 9 muestra el análisis de agua del drenaje del sistema de aire estéril de la llenadora A3, este mismo se realizó para determinar la calidad de agua que se tiene al salir del sistema de la llenadora y estudiar sus parámetros para la posible reutilización.

En este caso, solamente con una muestra de agua se determinó que la llenadora

A3 es el equipo que tiene más horas de producción por lo cual es uno de los sistemas de agua de mayor funcionamiento con respecto a las demás llenadoras.

Inicialmente, se tenía una propuesta sobre recirculación de las aguas residuales de las llenadoras en los propios equipos, pero el proveedor de los equipos especifica que no se puede utilizar agua tratada por ningún sistema que no sea certificado por ellos mismos, ya que, como estrategia de negocio, ellos fabrican una estación de filtrado y tratamiento de las aguas residuales para que trabaje en conjunto con las llenadoras Tetra Pak.

El fabricante del equipo recomienda no utilizar sistemas ajenos de suministro de agua potable para asegurar, calidad de agua dentro de sus sistemas y que en casos de que existan inesterilidades, el agua no sea partícipe de los eventos críticos de una investigación.

4.2. Clasificación de equipos para plan piloto

Tabla 10 Variables que afectan el consumo de agua potable

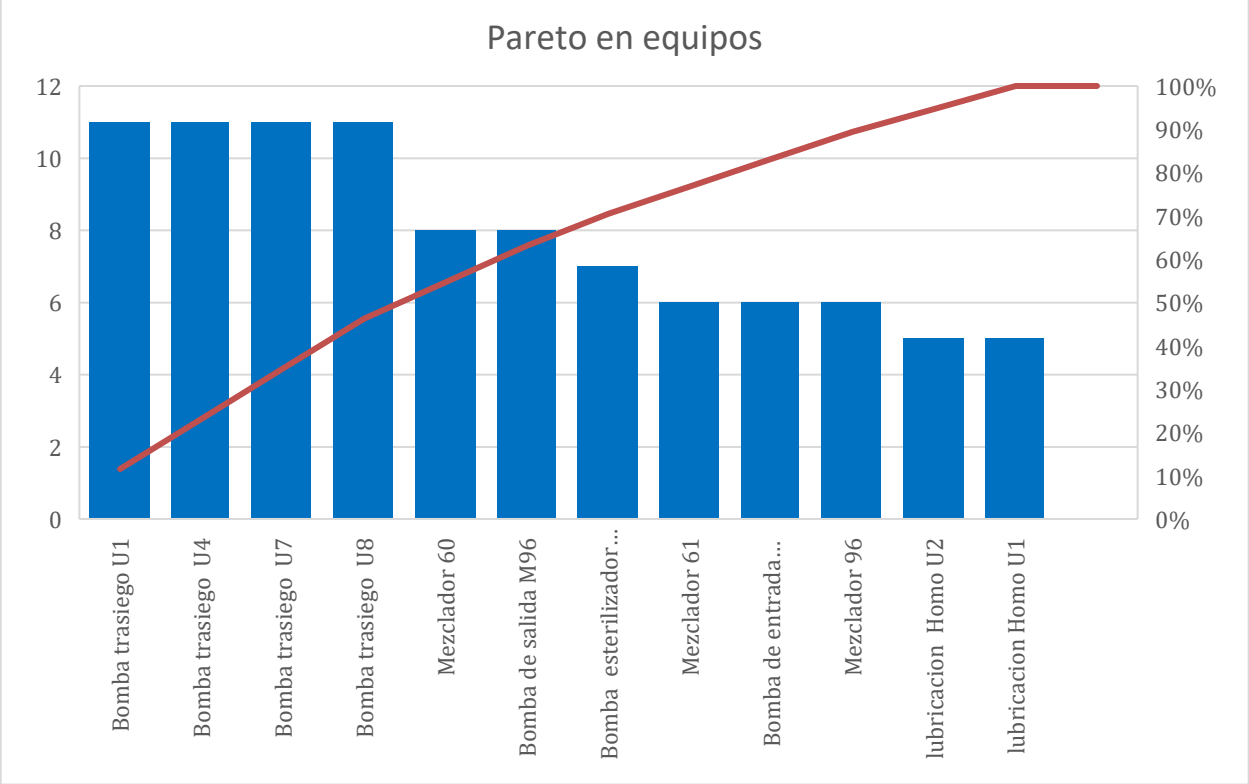
Equipos	Fugas (4)	Sin control del agua (3)	Caudal fuera de rango según especificaciones (2)	Desconocimiento de parámetros de lubricación (1)	Manipulación del caudal (1)	Criterio
Bomba trasiego U1	✓	✓	✓	✓	✓	11
Bomba trasiego U4	✓	✓	✓	✓	✓	11
Bomba trasiego U7	✓	✓	✓	✓	✓	11
Bomba trasiego U8	✓	✓	✓	✓	✓	11
Bomba esterilizador U6	0	✓	✓	✓	✓	7
lubricación Homo U2	0	✓	✓	0	0	5
lubricación Homo U1	0	✓	✓	0	0	5
Mezclador 61	0	✓	✓	✓	0	6
Mezclador 60	✓	✓	✓	✓	0	10
Bomba de salida M96	✓	✓	✓	✓	0	10
Bomba de entrada M96	0	✓	✓	✓	0	6
Mezclador 96	0	✓	✓	✓	0	6

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 10, aparecen una serie de variables que afectan el consumo de agua potable, estas variables tienen un valor asignado dependiendo de la criticidad. En la misma tabla, la primera columna muestra los equipos donde el agua hace sus respectivas funciones de lubricar y refrigerar distintos mecanismos, lo que se observa en esta tabla es que la variable de afectación está presente en los equipos, para ello se realiza una sumatoria para generar un resultado de criticidad a los equipos.

De esta manera, se caracteriza la variable con un valor del 4 al 1 siendo 4 de mayor importancia y 1 con importancia leve, por ejemplo, en la variable de fugas se desaprovecha el recurso hídrico pues no se puede reutilizar por eso se le da una mayor importancia, teniendo un valor de 4. También, aparecen equipos sin el control adecuado del agua por ser una variable importante se denomina con un valor de 3, caudales fuera de rango de especificaciones según el fabricante, en este punto le damos una designación de 2 porque al igual que las otras variables el agua no se gestiona de una manera adecuada, y, por último, se tiene desconocimiento de parámetros de lubricación y la manipulación del caudales de agua con un valor de 1 siendo este el valor de menos criticidad pues son variables más fáciles de controlar.

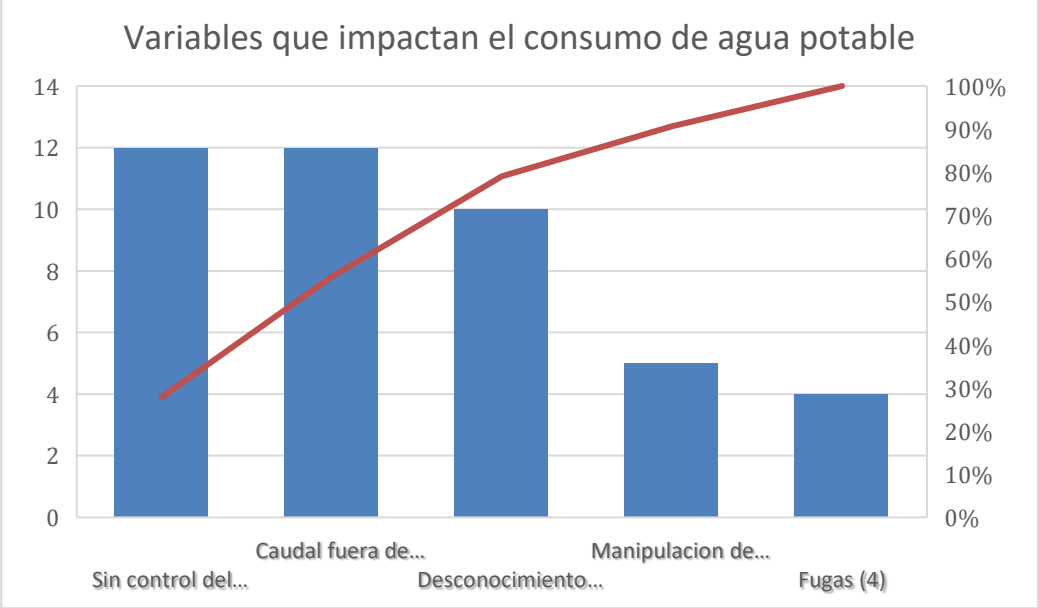
Figura 3 Gráfico Pareto elección de equipos por criterio



Fuente: Elaboración propia

En la figura 3, se muestra un diagrama de Pareto conformado por 12 equipos que utilizan el agua potable ya sea para enfriar o lubricar un sistema de algún equipo. Estos equipos tienen una serie de variables que afectan el consumo de agua potable y se presentan en la Tabla 7, con criterios establecidos se ofrecen valores a cada variable y como resultado de la matriz, la Figura 3 muestra que los equipos que tienen una mayor afectación por las variables son las bombas de trasiego del U1, U4, U7, y U8. Estos equipos representan más del 80% de coincidencia con las variables que se muestran en cada bomba, de tal manera que, las cuatro bombas presentan mayor puntaje que once según el criterio de la Tabla 7 donde se usan los datos para la generación de los gráficos 2 y 3.

Figura 4 Variables que afectan el consumo de agua potable.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 4, se muestra la clasificación de variables que afectan seriamente el consumo de agua potable en los sistemas por estudiar, en este caso, las variables más importantes son las que se muestran en el eje X: Sin control del agua, Caudales fuera de especificación, Desconocimiento de parámetros de lubricación, Manipulación de caudales y Fugas.

Así, el Diagrama de Pareto señala las variables de caudales fuera de especificaciones y sin control del agua, están por encima del 80% de coincidencia en los 12 equipos que se tomaron como muestra, de tal forma que estas dos variables son de mayor importancia para términos de la generación de informes y plan piloto.

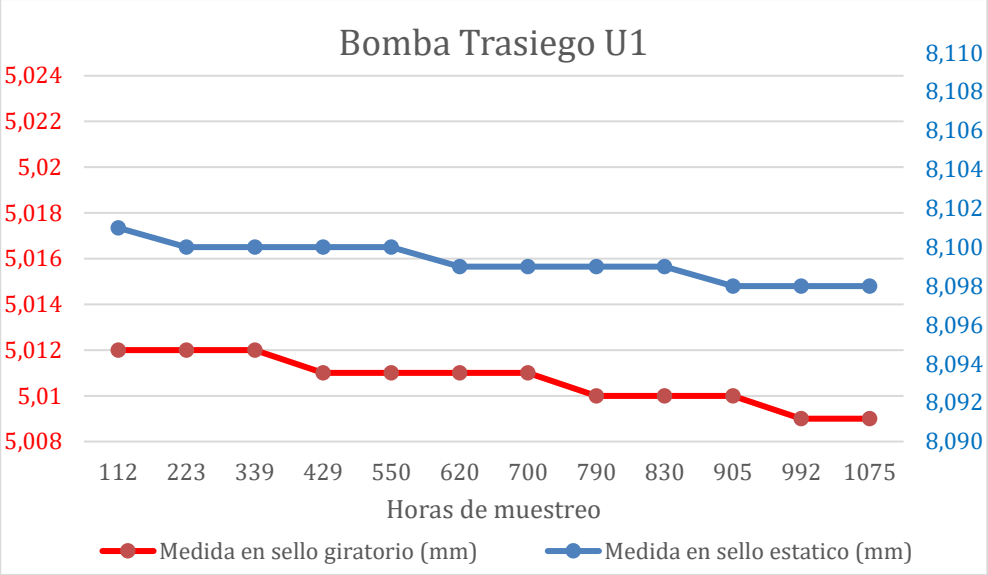
4.3. Análisis técnico

4.3.1 Análisis técnico sobre las bombas de trasiego

A continuación, se mostrarán los gráficos con respecto a mediciones de sellos mecánicos simples lubricados de inserto de carbono y carburo de silicio (C/SIC) de las cuatro bombas de trasiego (U1, U4, U7, U8) , estas fueron sometidas a un plan piloto donde se aplicaron cambios sobre el uso del agua para la lubricación del sello mecánico. Para este procedimiento se hace referencia al Manual técnico de la bomba centrífuga Alfa Laval Solid C, donde el fabricante menciona que el flujo de agua para lubricar y enfriar el sello mecánico es alrededor de 0,250 – 0,500 L/min.

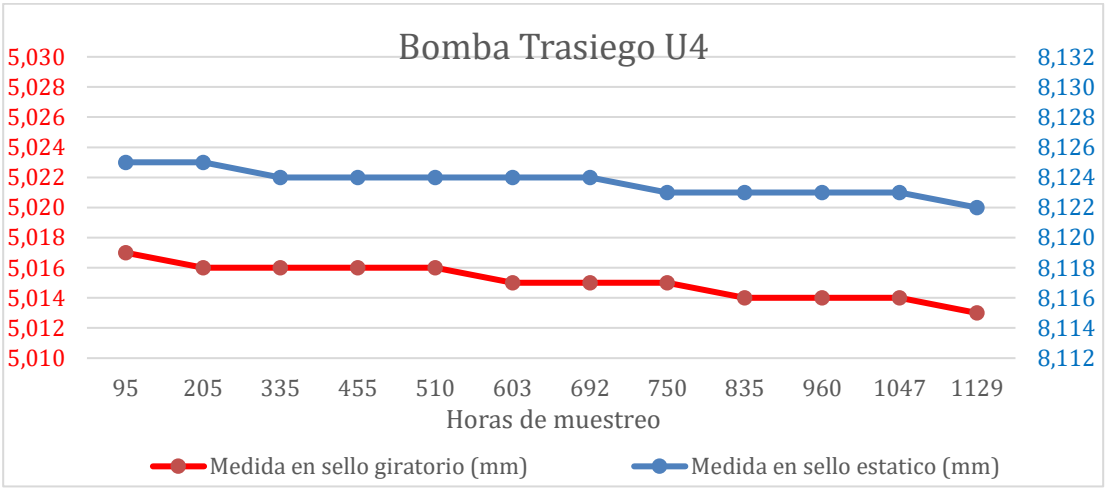
Se toma como referencia alrededor de doce mediciones del conjunto de sello mecánico de cada bomba con una frecuencia entre mediciones de aproximadamente 10 días ya que depende de la programación de los equipos en producción. Las mediciones de las cuatro bombas de trasiego serán comparadas con una bomba del esterilizador U6, en esta no se aplican cambios en su lubricación. Todas estas bombas se encargan de trasegar leche, jugos, y distintas mezclas lácteas siempre a una temperatura inferior a los 10˚C y para los procesos de lavado se emplea Soda Cáustica (NaOH) a 70˚C y ácido nítrico (HNO3) a 70˚C parámetros que recomienda el fabricante y que la empresa maneja dentro de su política.

Figura 5 Mediciones de sellos mecánicos Bomba Trasiego U1, a 0,400L/min lubricación del sello.



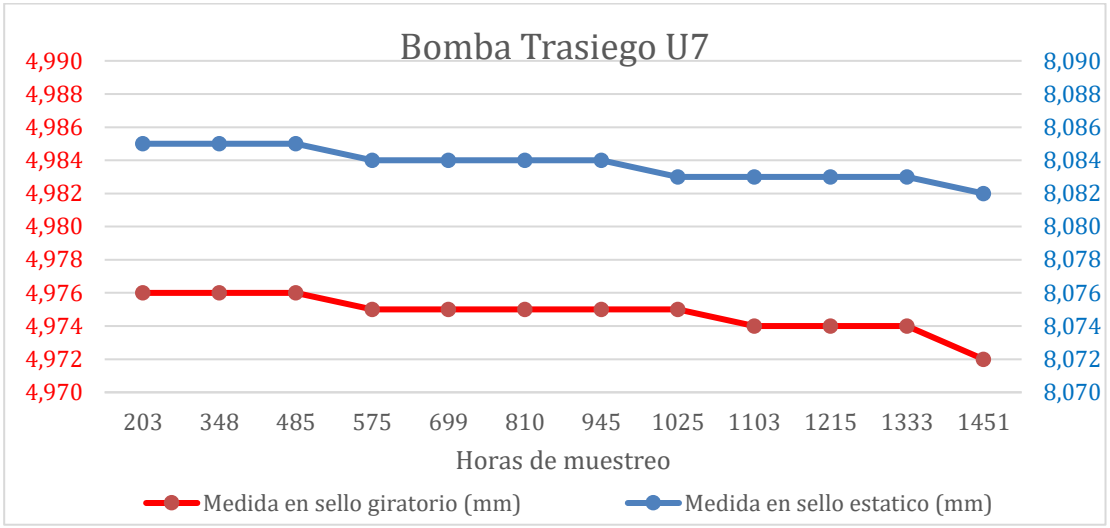
Fuente: Elaboración propia

Figura 6 Mediciones de sellos mecánicos bomba trasiego U4, a 0,400L/min lubricación del sello.



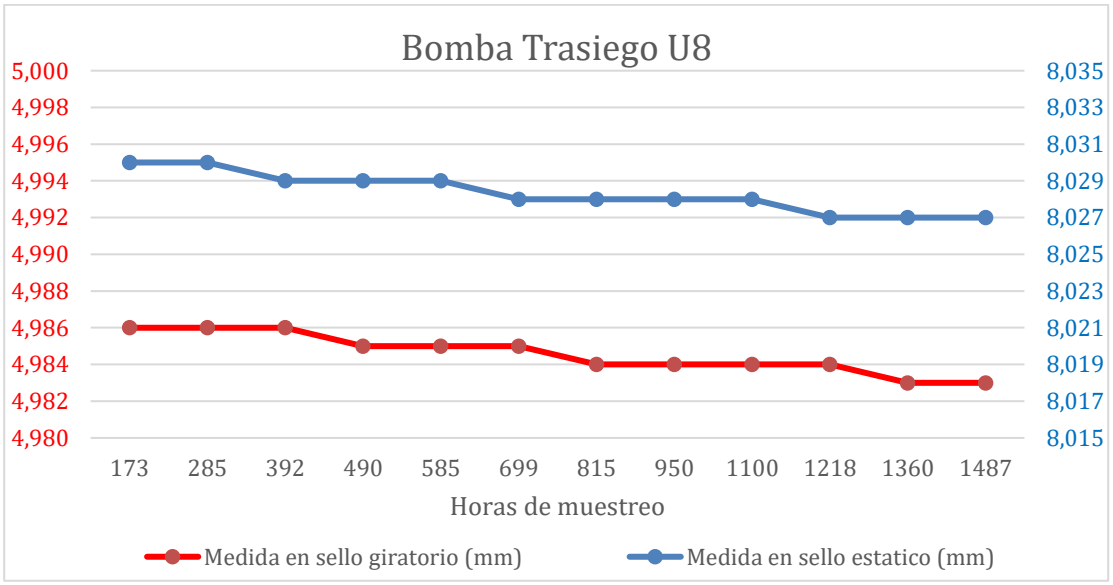
Fuente: Elaboración propia

Figura 7 Mediciones de sellos mecánicos bomba trasiego U7, a 0,400L/min lubricación del sello.



Fuente: Elaboración propia

Figura 8 Mediciones de sellos mecánicos bomba trasiego U8, a 0,400L/min lubricación del sello.



Fuente: Elaboración propia

En las figuras anteriores (5-6-7-8) se muestran las 12 mediciones aplicadas a los

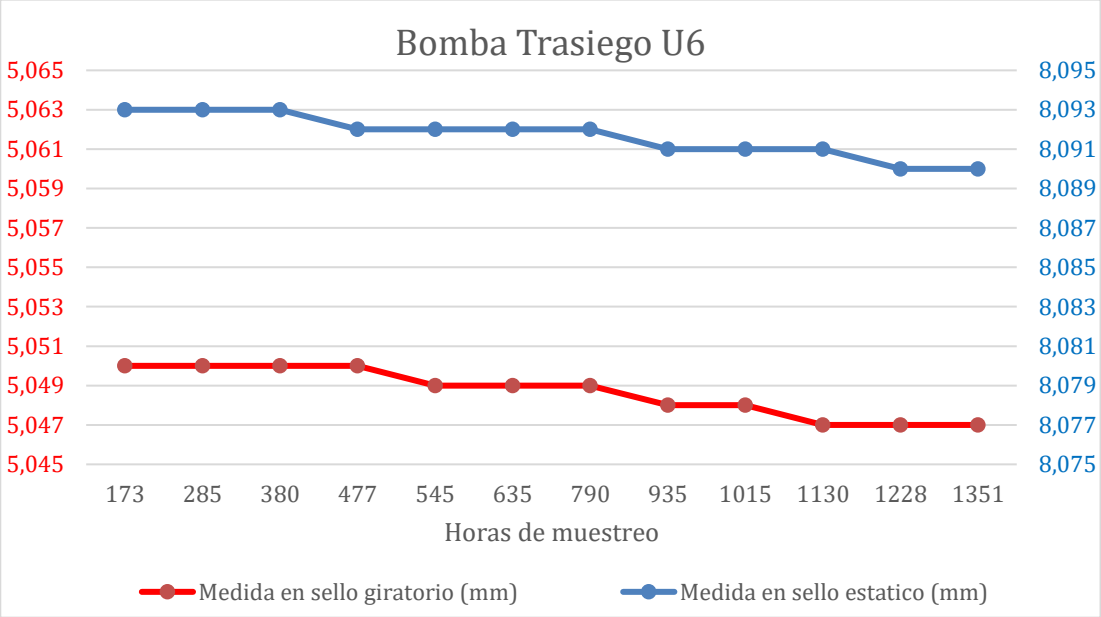
sellos mecánicos de las bombas centrífugas, se toma un tiempo aproximado de tres meses y medio en llevar a cabo dichas mediciones. Las medidas del sello giratorio se muestran con una línea de color rojo y su medida en mm de color rojo al lado izquierdo de la gráfica; el sello estático se identifica con la línea de color azul y su medida en mm de color azul al lado derecho de la gráfica, la frecuencia de medición ronda los 10 días con un aproximado de 90 – 120 horas de operación de cada bomba ubicado en el eje X de la gráfica. Se puede observar que la tendencia en los cuatro gráficos no representa una gran diferencia con respecto a la primera medición.

Para tomar un ejemplo: la figura 8 pertenece a la bomba de trasiego del esterilizador U8, es el equipo con mayor horas registradas en este plan piloto de mediciones, se detallan las mediciones del sello giratorio (línea roja), la primera medida es de 4,986mm y después de las 12 mediciones llegó a medir 4,983mm una pérdida de 3 milésimas (0,003mm) y el sello estático (línea azul) la primera medida indica 8,030mm y al terminar las mediciones alcanzó 8,026mm, se perdieron solamente 4milesimas (0,004mm). Con estos números, el desgaste que se pudo medir en estos sellos alcanza las 1314 horas de producción en aproximadamente 4 meses.

En un escenario de un año de mediciones, se puede calcular que cada sello puede tener un desgaste de 16 centésimas (0,016mm), siendo esto una medida de desgaste mayor. Esta medida de desgaste no determina una fuga en los sellos mecánicos, ya que el fabricante lo que especifica es el estado físico de los sellos

mecánicos para poder determinar futuras fugas.

Figura 9 Mediciones de sellos mecánicos bomba trasiego U6, a 3 L/min lubricación del sello.



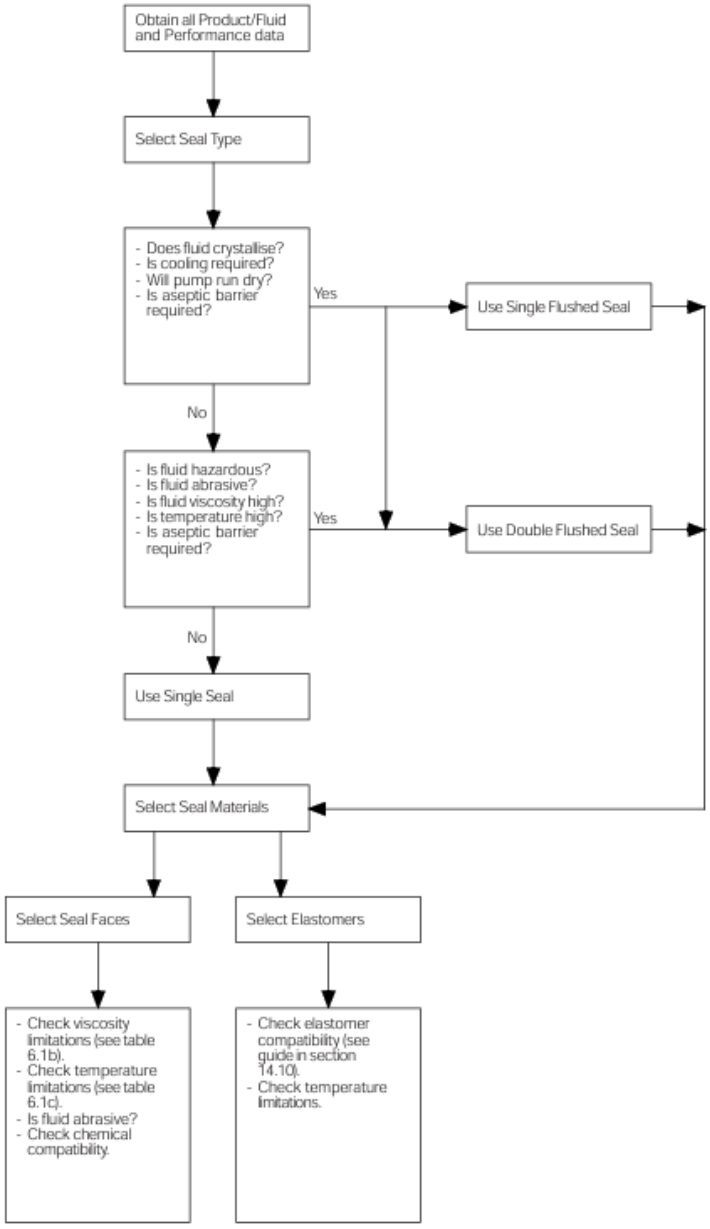
Fuente: Elaboración propia

En la figura 9, se muestra el gráfico de la bomba de trasiego del U6 al igual que las demás bombas de trasiego se le aplicaron las medidas correspondientes de cada parte del sello mecánico, sello giratorio (línea rojo, números rojos) y sello estático (línea azul números azules), en comparación con las otras bombas centrífugas, a esta, en específico no se le realizó ningún cambio de parámetros para su lubricación por lo que el sello mecánico es lubricado a 3L/min, tomando en cuenta

las primera mediciones de estos sellos se encuentra que el sello giratorio midió 5,050mm y al terminar las mediciones dio un resultado de 5,047mm con un desgaste de 3 milésimas (0,003mm). Para el sello estático la a medida fue de 8,093 y al terminar la última medición se obtuvo un resultado 8,090 sumando un desgaste de 3 milésimas al igual que el sello giratorio. En este caso, las tendencias de las gráficas cuando se utiliza 0,400L/min en comparación con la gráfica de 3L/min son muy semejantes hasta las milésimas de desgaste que tiene cada parte del sello tanto giratorio como estático. Con estos resultados, se observa que los cambios de parámetros en las bombas centrífugas no generan ningún inconveniente en la operación de cada bomba por lo que el plan piloto demuestra resultados positivos.

Los datos anteriores reflejan que se pudo generar un ahorro del agua que se desperdicia; sin embargo, existen algunas dudas sobre si es necesario usar agua en los sellos mecánico. Al investigar detalles, surge la figura 10 que describe la adecuada selección de sellos mecánicos para bombas Alfa Laval.

Figura 10 Proceso de selección de sellos mecánicos



Fuente: All you need to know ... Alfa Laval Pump Handbook

En la figura 10, aparece un diagrama de árbol de decisión para elegir adecuadamente los sellos mecánicos. La primera clasificación que ofrece el diagrama es caracterizar el fluido por trabajar, en este caso se pregunta si el fluido es cristalino, si requiere barrera aséptica, si es necesario enfriar el sello, si en algún caso la bomba trabaja en seco; si alguna variable fuera afirmativa se debería usar

un sello simple lubricado por agua, pero en este caso específico, ninguna de estas variables aplica, por tanto, se opta por la segunda clasificación con otra serie de preguntas como: el fluido es abrasivo, el fluido es peligroso, el fluido es de alta viscosidad, el fluido tiene alta temperatura, se requiere barrera aséptica. Si alguna variable aplica se debería usar un sello doble lubricado por agua, pero en nuestro caso ninguna es afirmativa por lo cual, según el diagrama, se debe usar un sello simple y solamente falta elegir los materiales de los sellos según lo que indica el diagrama donde se deben utilizar las siguientes tablas.

Figura 11 Tabla para seleccionar sello según viscosidad del fluido

Viscosity	Seal Face Combination
up to 4999 cP	Solid Carbon v Stainless Steel Solid Carbon v Silicon Carbide Solid Carbon v Tungsten Carbide
up to 24999 cP	Inserted Carbon v Stainless Steel Inserted Carbon v Silicon Carbide Inserted Carbon v Tungsten Carbide
up to 149999 cP	Silicon Carbide v Silicon Carbide Tungsten Carbide v Tungsten Carbide
above 150000 cP	Consider Double Seals

Fuente: All you need to know ... Alfa Laval Pump Handbook

En la tabla 11, aparece la clasificación de los sellos mecánicos basado en la viscosidad de los fluidos, en el caso del estudio de muestreo la viscosidad de los dos productos más viscosos que trasiegan las bombas son la crema dulce que a 8˚C tiene una viscosidad de 29cP y la Mixtura que a 7˚C da una viscosidad de 27cP, siendo estos los dos productos más viscosos que se producen en el área, fácilmente se pueden elegir cualquier combinación de sellos mecánicos.

Figura 12 Tabla para seleccionar sello según temperatura del fluido

Temperature	Seal Face Combination
up to 150°C (*302°F*)	Inserted Carbon v Stainless Steel Inserted Carbon v Silicon Carbide Inserted Carbon v Tungsten Carbide Silicon Carbide v Silicon Carbide Tungsten Carbide v Tungsten Carbide
up to 200°C (*392°F*)	Solid Carbon v Stainless Steel Inserted Carbon v Silicon Carbide Inserted Carbon v Tungsten Carbide

Fuente: All you need to know ... Alfa Laval Pump Handbook

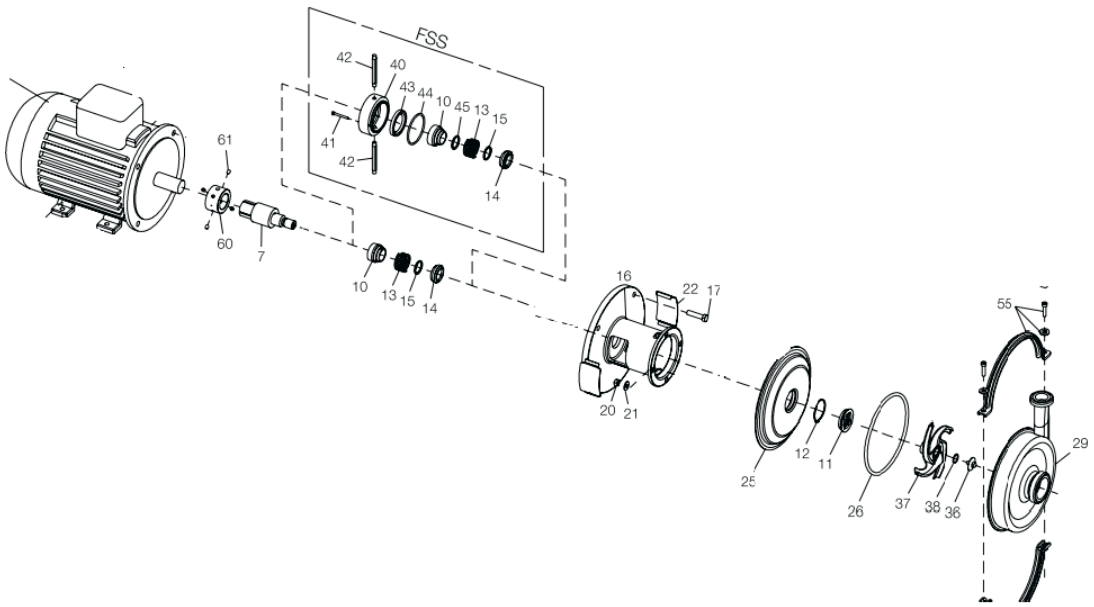
En la tabla 12, se detalla la clasificación de sellos mecánicos bajo términos de temperatura. En esta área, todo lo que trasiegan estas bombas son productos a menos de 10˚C, son agentes de limpieza y alcanzan temperaturas de 70˚C, tanto la Soda Cáustica como el Ácido Nítrico. Son los agentes de limpieza que recomienda el fabricante en el manual de Alfa Laval SolidC Centrifugal Pumb, por lo cual no se muestra restricción alguna de elegir cualquier combinación de sellos de los indicados en la figura anterior.

Según el diagrama de la Figura 10, se debe elegir el tipo de elastómero que usarán los sellos mecánicos y para eso se refiere consultar el apartado 14,10 de la guía, All *you need to know ... Alfa Laval Pump Handbook,* donde se encuentran las características de los elastómeros. En este caso, solo se hará mención por nombres de los elastómeros; NBR (Nitrile), FPM (Fluorinated rubber)- alternatively known as Viton, PTFE (Polytetrafluoro Ethylene), MVQ (Silicone), FEP (Fluorinated Ethylene Propylene), Kalrez® (Perfluoroelastomer), Chemraz® (Perfluroelastomer)

y el EPDM o etileno propileno resistente a la mayoría de productos de la industria alimenticia, resistente al ozono y a la radiación, rango de operación de -40˚C a 150˚C, utilizado en sellos estáticos o dinámicos siendo el EPDM el tipo de elastómero a elegir por sus características de operación y es el único de grado alimenticio.

Por medio de este análisis de los sellos mecánicos se encuentra que es posible eliminar la lubricación de los sellos, ya que, según el proceso de selección, los sellos no necesitan agua, esto, según lo investigado.

Figura 13 Despiece de partes bomba Alfa Laval

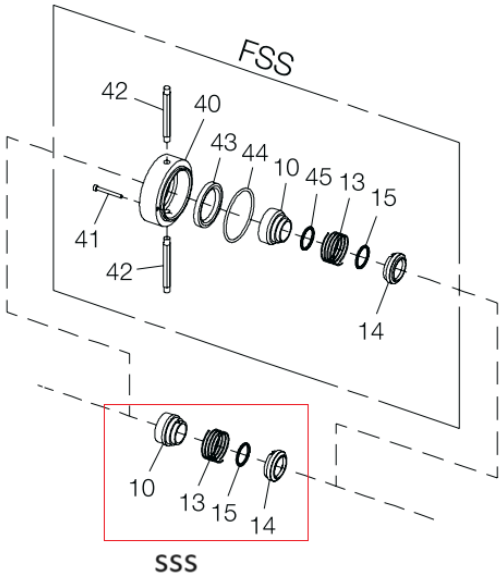


Fuente: alfa laval solidc pump instruction manual

En la figura 13, se observa el despiece de una bomba Alfa Laval tipo Solid-C, donde se puede apreciar todos los componentes de las bombas de la investigación

y se detallan las diferentes combinaciones de sellos mecánicos, en caso de usar agua sería; simple lubricado por agua (FSS) y sello simple (SSS).

Figura 14 Detalle de sellos mecánicos FSS y SSS



Fuente: Alfa Laval Solid-c pump instruction manual

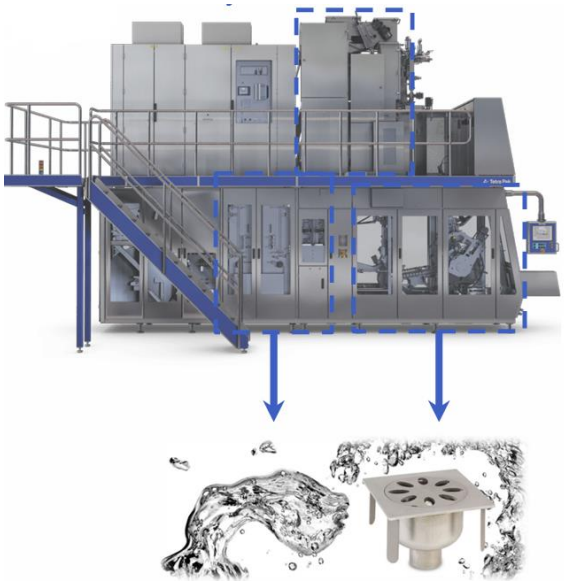
En el detalle anterior de la figura 14 se puede apreciar con más precisión los componentes que se deben eliminar para realizar la configuración de sellos lubricado (FSS), a sellos simples (SSS), en este caso, se eliminan las piezas (40 - 41 - 42 - 43 - 44 - 45) y se cambia el bushing seguidor (10), las partes restantes del sello mecánico (13 -14 – 15) pueden permanecer ya que cumplen la función de aislar el fluido dentro de la bomba, pero es recomendable hacer cambio completo del kit de servicio de sellos mecánicos e instalar el adecuado a las condiciones de operación que, en estos casos, serían los sellos simples de inserto de carbono y carburo de silicio sin lubricación que soportan temperaturas hasta los 150˚C y

productos con una viscosidad por debajo de los 24999cP un sello de uso habitual en otras aplicaciones en la empresa.

4.3.2 Propuesta sobre la compra de equipo para la captación, filtración y recirculación del agua para las llenadoras Tetrapak

Se presenta una propuesta por parte del fabricante para la reutilización del agua que utilizan las llenadoras Tetrapak.

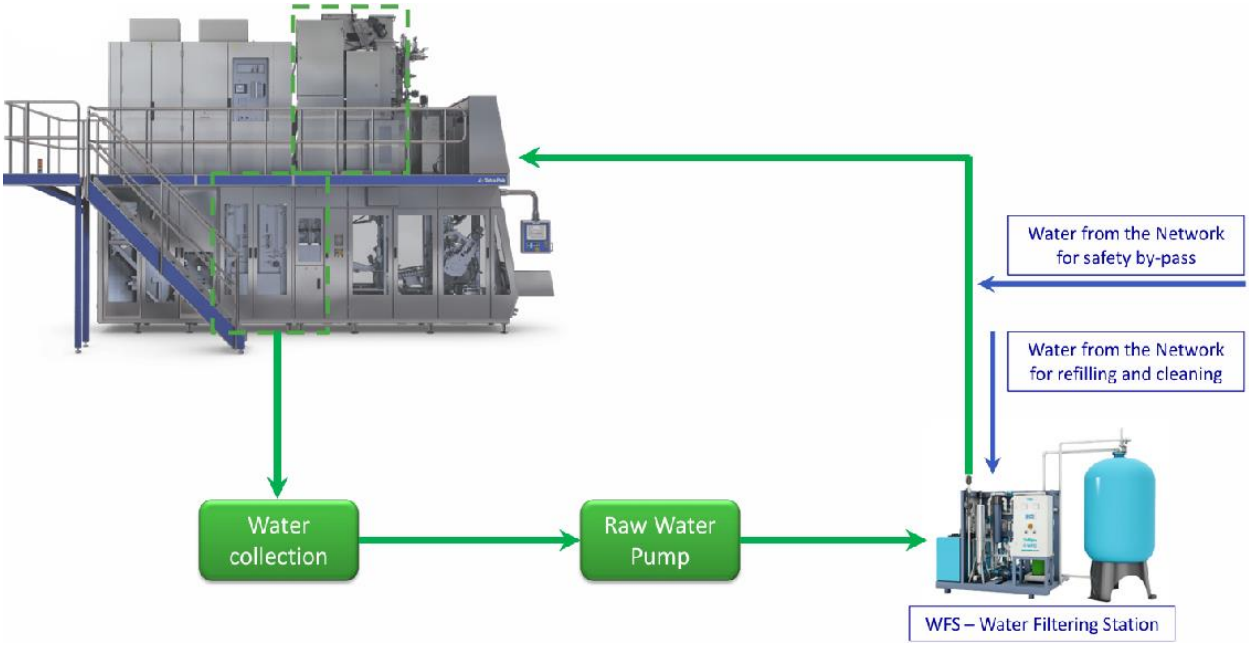
Figura 15 Agua residual de llenadoras Tetrapak



Fuente: Tetra Pak WFS ® Water Filtering Station

En la actualidad, las diez llenadoras Tetrapak drenan toda el agua que utilizan los sistemas a desagüe sin ningún aprovechamiento.

Figura 16 Estación de filtrado de agua de llenadoras Tetrapak



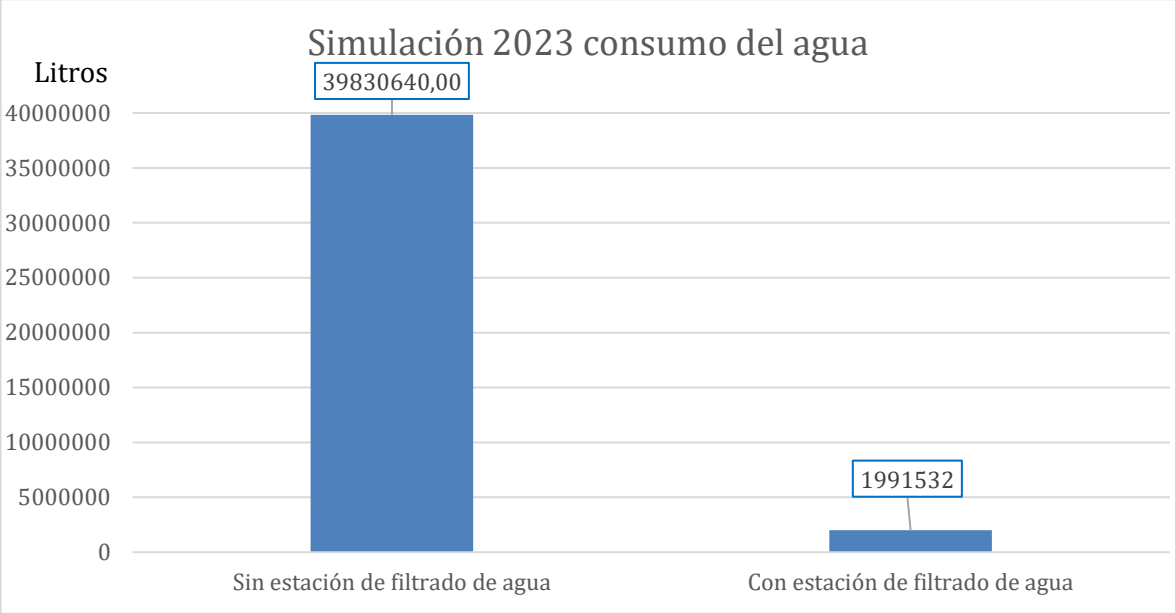
Fuente: Tetra Pak WFS ® Water Filtering Station

En la figura 16, se presenta el sistema recomendado para la reutilización del agua en las mismas llenadoras, el proveedor es el encargado de vender dicho sistema, donde el agua se recolecta por medio de captadores en la parte inferior de las máquinas, luego se impulsa el agua hasta la estación de filtración, donde, por medio de químicos y elevadas temperaturas del sistema, se logra obtener agua en óptimas condiciones para ser impulsada nuevamente a los equipos que la requieran. También, bajo sus recomendaciones, se deja un by-pass para tener el suministro de red de agua potable de la planta cuando se requiera retirar el equipo por reparaciones o por trabajos programados.

Además, se menciona que el equipo de filtración tiene la capacidad de tratar hasta doce llenadoras Tetrapak A3 Flex, reutilizando grandes cantidades de agua,

con un costo menor por el consumo del agua potable, con mejoras en el perfil ambiental, alargando la vida útil de los componentes que tienen el contacto con el agua y se eliminan partículas de aceite y residuos de peróxido de hidrógeno

Figura 17 Ejemplo de ahorro de agua potable para las llenadoras

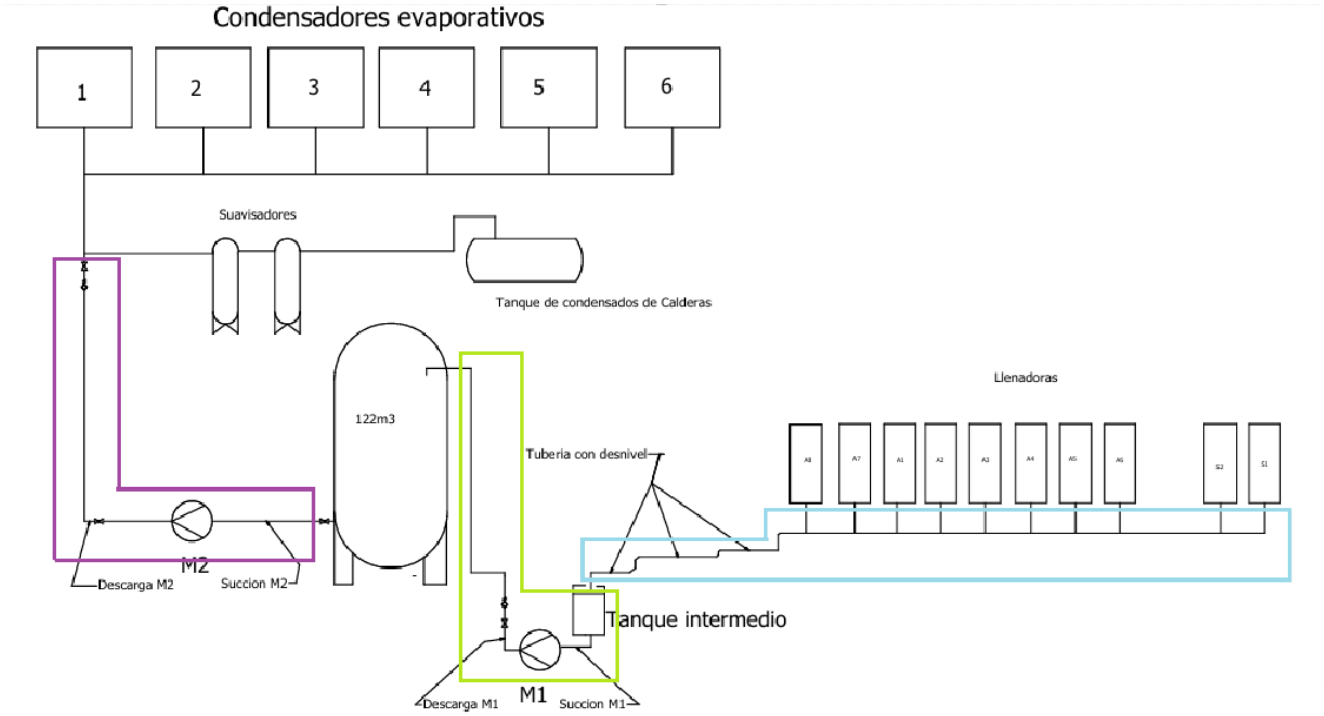


Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica anterior, se detalla un ejemplo de ahorro basado en datos del consumo de agua del año 2023. Las diez llenadoras tuvieron un consumo de 39 830 640,00 litros de agua potable, con el equipo de filtración de aguas residuales de las llenadoras se ahorra el 95% del agua que estas consumen, de tal manera que, si se utilizan los equipos de filtración el consumo sería de 1 991 532 litros al año esto representa un gran ahorro para la empresa, son muchos millones de litros los que ya no tendrán que ser tratados y expulsados por las máquinas y, además, genera un gran impacto positivo sobre el uso adecuado del recurso hídrico.

4.3.3. Propuesta sobre la reutilización del agua de las llenadoras hacia condensadores evaporativos y caldera

Figura 18 Diagrama para propuesta de reutilización del agua residual de las llenadoras.



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 18, se presenta un diagrama para la propuesta de reutilización del agua residual que desechan las llenadoras, el objetivo es enviar el agua a un silo existente de 122m^3 que se encuentra fuera de servicio, de esta manera, se puede suministrar agua a dos sistemas distintos en la parte externa de la planta. Un sistema contiene seis condensadores evaporativos donde el agua que se utiliza es

para realizar intercambio de calor en las tuberías de amoniaco y los suavizadores de la caldera que utilizan agua potable para bajar su dureza y conseguir condiciones óptimas para poder ser utilizadas por las calderas.

En el diagrama se detallan tres áreas con líneas de colores, con el fin de dividir por sistemas a la hora de realizar los cálculos respectivos por sus diferentes configuraciones. El área rodeada por la línea celeste se refiere al agua residual que sale de las llenadoras en tubería inoxidable, pasa por el cuarto de llenado y baja al sótano para ser transportada por un tramo de tubería con desnivel. La segunda área rodeada de color verde señala un arreglo que cuenta con una bomba M1 y un tanque intermedio donde se recibe el agua de las llenadoras para trasegarla hasta el silo de 122m^3 y, por último, el área rodeada por una línea morada lleva a una bomba M2 encargada de suministrar el agua almacenada a los sistemas de condensadores evaporativos y suavizadores de caldera.

Figura 19 Inicio de tubería de 123m con desnivel del 2%

Fuente: Elaboración propia

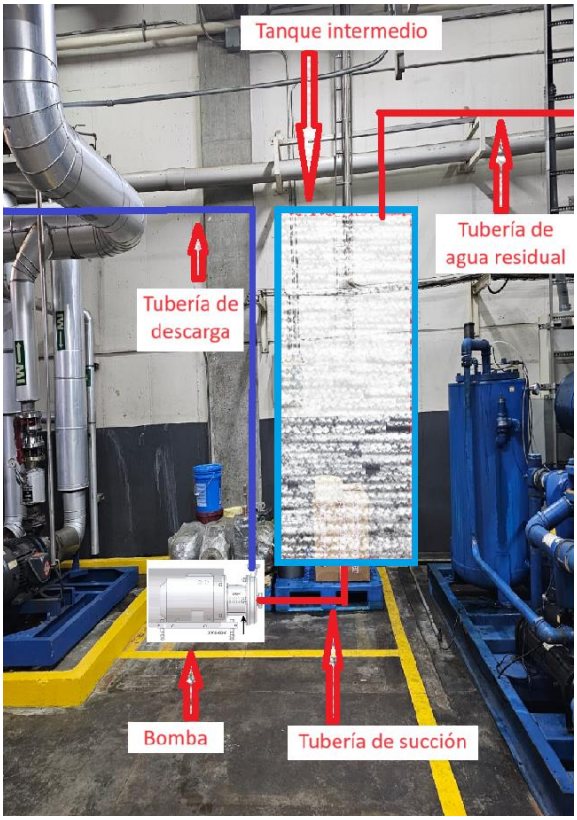
En la figura 19, se muestra el inicio la tubería con desnivel donde el agua residual de las llenadoras viaja hasta un tanque intermedio, la tubería consta de un tramo vertical de 1.5m y una trayectoria horizontal de 123m con pendiente del 2,02%. Como se muestra en la ilustración, al lado se ubican otras dos tuberías, estas son una línea de agua helada y el retorno de la misma que llega hasta los silos, por lo cual todo el tramo de soporte ya existe.

Figura 20 Tramo de tubería con pendiente

Fuente: Elaboración propia

En la figura 20, se muestra una línea roja, representa un tramo de la trayectoria de la tubería con pendiente acompañada de otras tuberías de agua helada

Figura 21 Tanque intermedio y bomba M1



Fuente: Elaboración propia

Se requiere la instalación de un tanque intermedio de aproximadamente 3,5m^3, donde el agua será almacenada y con un control de nivel adecuado la bomba impulsará el agua hasta el silo de almacenamiento.

Figura 22 Tramo de Tubería de descarga bomba M1

Fuente: Elaboración propia

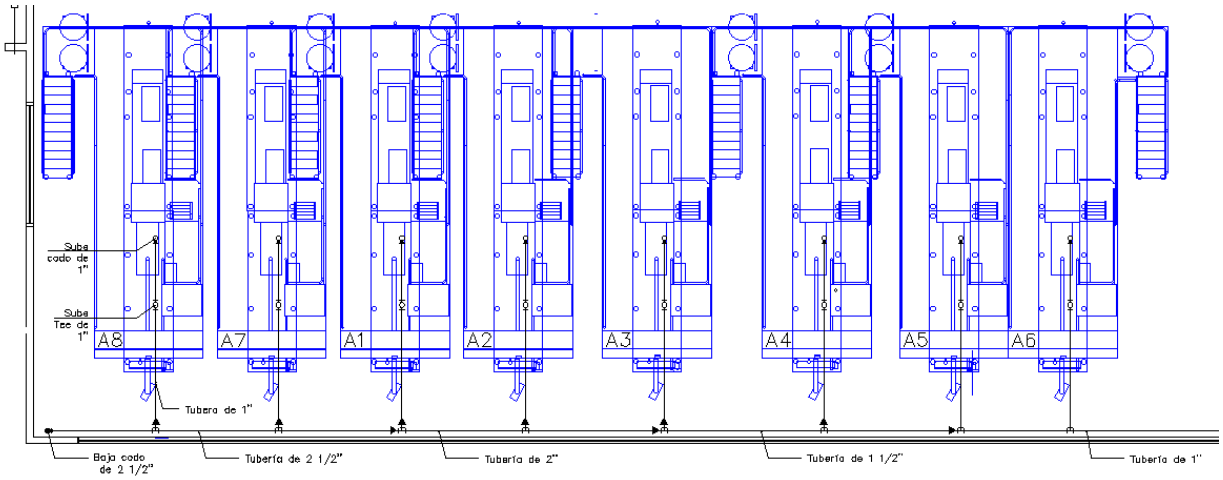
La línea roja en la Figura 22 identifica la tubería de descarga de la bomba M1, esta sale del cuarto de máquinas para subir por un costado del silo, la tubería de inoxidable que aparece en la imagen es el rebalse del silo y la tubería color turquesa es una tubería ya existente de agua potable para rellenar el silo cuando este estaba en operación.

Figura 23 Tubería de descarga de bomba M1 al silo

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 23, se aprecia la tubería vertical que sube aproximadamente 23m de atura para rellenar el silo de agua residual de las llenadoras.

Figura 24 Diagrama de tubería en cuarto de llenado (Llenadora A6-A8)

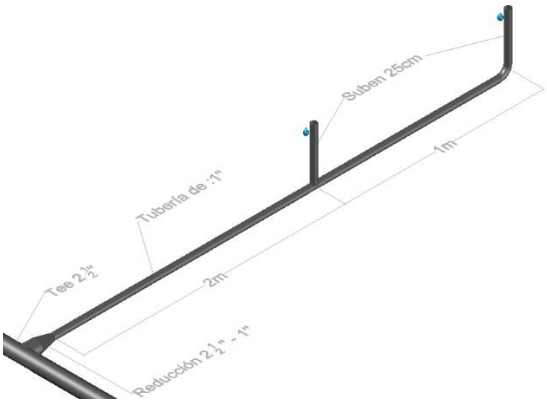


Fuente: Elaboración propia

El diagrama anterior muestra una vista previa de cómo se debería instalar la tubería de drenajes de las llenadoras, debajo de cada máquina se diseñaron dos salidas en tubería de 1”. La primera salida con un codo y la segunda con una Tee drenando en tubería de 1” de 3 metros de largo desde la primera salida, para luego desembocar en la tubería principal. En esta vista solamente se muestra el tramo de tubería de la llenadora A6 hasta la llenadora A8, para luego bajar en codo de 2 ½’’ hacia el sótano.

En el sitio de cuarto de llenado se utiliza tubería de inoxidable Sch40 sin costura, todos los accesorios serán soldados y se instalarán uniones sms en la tubería principal de drenaje.

Figura 25 Detalle de la tubería de drenaje de la llenadora A8.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 25, se visualiza el detalle de cómo está compuesta la tubería de drenaje de cada llenadora, la misma tiene un diámetro de 1’’ para dar salida a la tubería principal, ahí se coloca una reducción de 2 ½’’ a 1’’ y la Tee de 2 ½’’ de la tubería principal que en este caso es de 2 ½’’.

Tabla 11 Dimensiones de tuberías por corrección de velocidad en el cuarto de llenado.

Secciones entre maquinas	Longitud de tuberia	Caudal m3/h	Caudal m3/s	Velocidad intermedia estimada (m/s)	$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi w}}$	Tuberia en Pulgadas	Diametro de tuberia en m	$v = \frac{4 * Q}{\pi D^2}$	Caudal L/s
S1-S2	2,5	1,6	0,000444	1,1	0,023	1	0,027	0,80	0,44
S2-A6	20	3,2	0,000889	1,1	0,032	1	0,027	1,60	0,89
A6-A5	2,8	4,7	0,001306	1,1	0,039	1 1/2	0,041	0,99	1,31
A5-A4	3,1	6,2	0,001722	1,1	0,045	1 1/2	0,041	1,31	1,72
A4-A3	2,5	7,7	0,002139	1,1	0,050	2	0,053	0,99	2,14
A3-A2	3,1	9,2	0,002556	1,1	0,054	2	0,053	1,18	2,56
A2-A1	2,8	10,7	0,002972	1,1	0,059	2 1/2	0,063	0,96	2,97
A1-A7	2,8	12,2	0,003389	1,1	0,063	2 1/2	0,063	1,10	3,39
A7-A8	2,8	13,7	0,003806	1,1	0,066	2 1/2	0,063	1,23	3,81

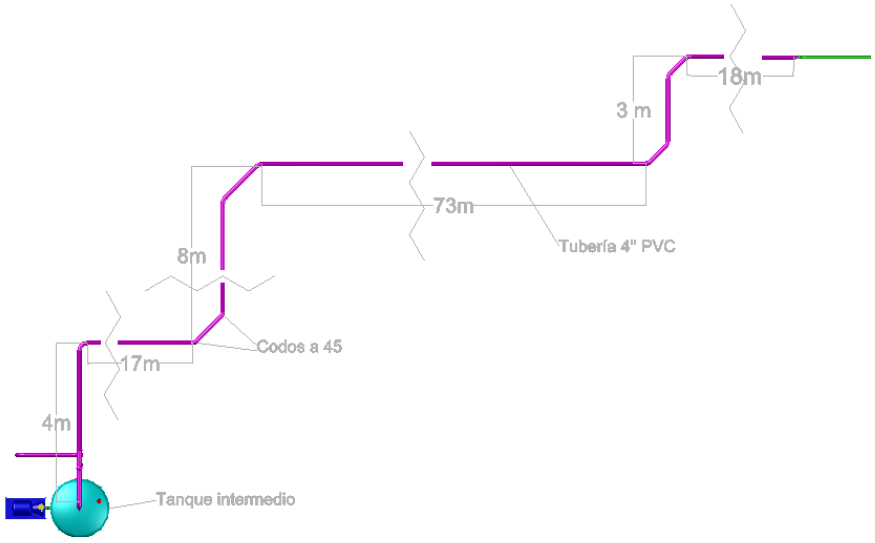
Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 11, se encuentra tabulada la información con respecto al dimensionamiento de tuberías. Se calculó primeramente el diámetro de la columna 6 tomando en cuenta la velocidad de 1,1m/s, este dato hace referencia a recomendaciones presentes en el código de instalaciones hidráulicas, en el artículo 6.3.2-1 donde especifica un rango recomendado para velocidades en tuberías con valores de (0,6 – 2) m/s para la adecuada distribución del agua.

Seguidamente, se calcula la velocidad del agua en la tubería con un diámetro estándar, se eligen diámetros de la norma ANSI Sch40 de las columnas 7 y 8 de la tabla 11 para obtener las velocidades del fluido y revisar que se ubiquen dentro de las velocidades que el código recomienda. Esta tubería transporta agua de drenajes de las llenadoras, así, cada sistema drena el agua por debajo de la máquina, no existe una presión determinada pues son salidas de drenajes por gravedad y en el cuarto no se logra generar una pendiente, de tal manera que los cálculos se realizan por corrección de velocidades y lo que cada diámetro de tubería permita distribuir en términos de flujo, no se tomarán en cuenta las pérdidas por

accesorios, ya que no hay componentes en la línea principal, solamente ampliaciones de tubería.

Figura 26 Diagrama de tubería con desnivel.



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 26. Se diseñan los detalles que contienen la tubería con desnivel, esta se podría instalar en el sótano de la planta, los cortes en el diagrama se justifican debido a la extensa trayectoria de 123m. Se puede apreciar la utilización de codos a 45˚ en todas las desviaciones con el fin de evitar cambios bruscos en la dirección del flujo de agua residual, este diseño acata recomendaciones del código de instalaciones hidráulicas, además, toda la trayectoria de la tubería con desnivel es de 4’’ de PVC SDR41.

Tabla 12 Datos y dimensión de tubería con desnivel

Sección	A8-T1
Longitud de tubería	123m
Caudal teórico	19 m3/h
Caudal teórico	0,005277778 m3/s
Diámetro	0,08 m
Radio Hidráulico	0,024134957
Área Mojada	0,00404386
Velocidad	1,31 m/s
Caudal	5,31 L/s
Caudal calculado	0,005307 m3/s

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 12, se detallan los valores necesarios para el cálculo de tubería con desnivel por medio de las fórmulas de *Manning* adecuado para sistemas de aguas residuales con tuberías de desnivel. La trayectoria máxima de la tubería es de 123m con un desnivel del 2,5m de altura, esta sale por debajo del cuarto de llenado hasta un tanque intermedio que se instalará en el cuarto de máquinas, con esta distribución se obtienen 2,02% de desnivel, el flujo, al pasar por esta tubería, es de 19m^3/h, con estos datos y con un diámetro aproximado de tubería de 0,08m (80mm), se procede a calcular la ecuación de tubería llena a ¾'' con el método de Manning.

Se logra calcular que el Radio Hidráulico es de 0,02413 y un área mojada de 0,0040, de esto se obtiene un caudal de 5,31L/s igual a 19,11m^3/h siendo un valor superior al dato presupuestado para el diseño; una velocidad de 1,31m/s, velocidad calculada dentro de los rangos que recomienda el código de instalaciones hidráulicas, se sobredimensiona el sistema para elegir una tubería de 4¨ igual a 100mm de diámetro en PVC SDR41 esto para las futuras ampliaciones del sistema que se propone.

Tabla 13 Datos generales para cálculos del diseño de la bomba M1

Rugosidad Tubería Inox e(m)	0,00004
Densidad Agua 30	996 kg/m3
Dinámica	0,0008 Pa*s
peso especifico	9,97 kN/m3
cinemática	0,000000803 m2/s
Z2-Z1	23,5m
Rendimiento bomba	65%

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior, se establecen parámetros generales del agua y algunas características del diseño. La rugosidad relativa de la tubería fue tomada de la tabla de *COLEBROOK WHITE* donde se especifican las diferentes características de las tuberías, se selecciona el valor de 0,00004m que pertenece al acero soldado nuevo equivalente al acero inoxidable que utiliza el diseño propuesto, las propiedades del agua a 30˚C aproximadamente fue lo que se logró medir en los muestreos en los equipos de producción, también se tiene una diferencia de alturas entre los tanques donde se almacena el agua siendo de 23,5m según el diseño propuesto y se establece un rendimiento de 65% para la bomba del diseño.

Tabla 14 Datos de la tubería de succión y descarga de la Bomba M1.

Succión Bomba M1		Descarga Bomba M1	
k salida de tanque	0,5	5 codos de 90˚	150
1 codo 90˚	30	3 codos de 45˚	48
Le/D total	30,5	1 válvula de Bola	3
Longitud (m)	1	1 válvula Check	135
Diámetro (m)	0,0627	k Entrada Tanque	1
Caudal (m3/s)	0,005278	Llave de paso	3
Velocidad (m/s)	1,709	Le/D total	339
Reynols	133432,62	Longitud (m)	58
Fs mooby (Diagrama)	0,0202	Diámetro (m)	0,0525
e/D	0,000638	Caudal (m3/s)	0,005278
		Velocidad (m/s)	2,44
		Reynols	159356,672
		Fs mooby (Diagrama)	0,0205
		e/D	0,000761905

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior, aparecen los datos referidos a los cálculos para la selección de diámetros de tubería y selección de la bomba M1, esta se ubica por debajo del tanque intermedio que recolecta las aguas residuales de las llenadoras, para luego enviar esta misma agua hasta el silo de almacenamiento. Tanto la succión como la descarga detallan los accesorios utilizados en los tramos de tubería, estos accesorios cuentan con valores de *L/D* que señalan la longitud de pérdida de cada accesorio entre el diámetro interno del mismo. Para el cálculo de pérdidas menores, de igual forma se detalla la longitud de la tubería, las velocidades y los diámetros; en este caso, la succión de la bomba llevaría una tubería de 62,7mm (2 ½") la longitud es un tramo muy corto ya que la bomba está por debajo del tanque y genera una velocidad de 1,7m/s.

La descarga de esta bomba tiene una tubería con una longitud de 58m, se utilizará una tubería de diámetro de 52,5mm (2”) para generar una velocidad de 2,44m/s, tanto la succión como la descarga de la bomba están cerca de los parámetros que recomienda el código de instalaciones hidráulicas en el artículo 7.9-7 donde establece los parámetros de 1,5m/s para la succión y 2,4m/s para la descarga de la bomba.

Seguido de las características de la tubería, se encuentra el número de Reynols que, junto con la rugosidad relativa ***(e/d)*** de la tubería, se obtendrá el factor de fricción ***(fs)*** de la tubería que se realiza por medio de la interpretación del diagrama de Mooby, esto para determinar las pérdidas por fricción en los diferentes tramos de tubería de succión y descarga de la bomba.

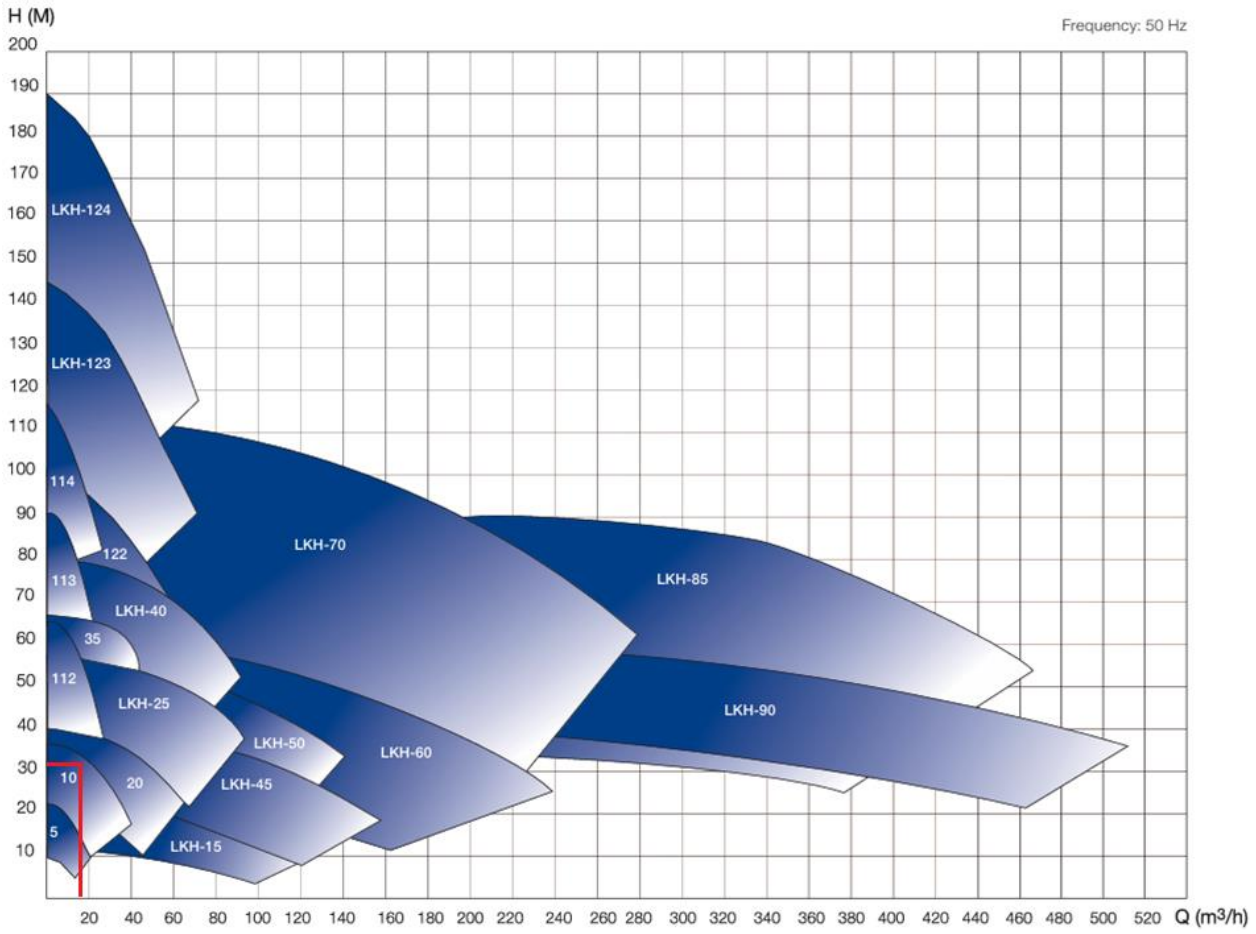
Tabla 15 Datos de la Bomba M1 para el sistema.

Bomba M1	
Pérdidas en la Succión	0,2141 m
Pérdidas en la descarga	9,26 m
Pérdidas en el sistema	9,48 m
H de la bomba	32,98 m
Potencia al fluido	1699,89 watts
Potencia Bomba	2614,22 watts
Hp	3,48
Caudal	19 m^3/h

Fuente: Elaboración propia

Las pérdidas que existen en la tubería son calculadas por secciones del sistema, en la tabla anterior, aparecen las pérdidas en cada sección del diseño, tanto la succión como la descarga de la bomba cuentan con pérdidas, se utiliza la ecuación de *Darcy-weisbach* para las pérdidas de energía, donde se realizan las sumatorias de las pérdidas por accesorios y por longitud de tubería. Se observa que el sistema tiene una pérdida de 9,48m de columna de agua, esta deber ser sumada al diferencial de alturas que se muestra en la tabla 13 de datos generales; como resultado se obtiene que la bomba por elegir deber ser capaz de vencer una columna de agua de 32,98m, de tal forma que la potencia del fluido es de 1699,89Watts, pero, la bomba posee un rendimiento de 65% por lo que el valor real será de 2614,22Watts aproximando 3,48Hp para poder impulsar los 19 m^3/h que demanda el diseño.

Figura 27 Curvas de Bombas Alfa Laval para selección Bomba M1

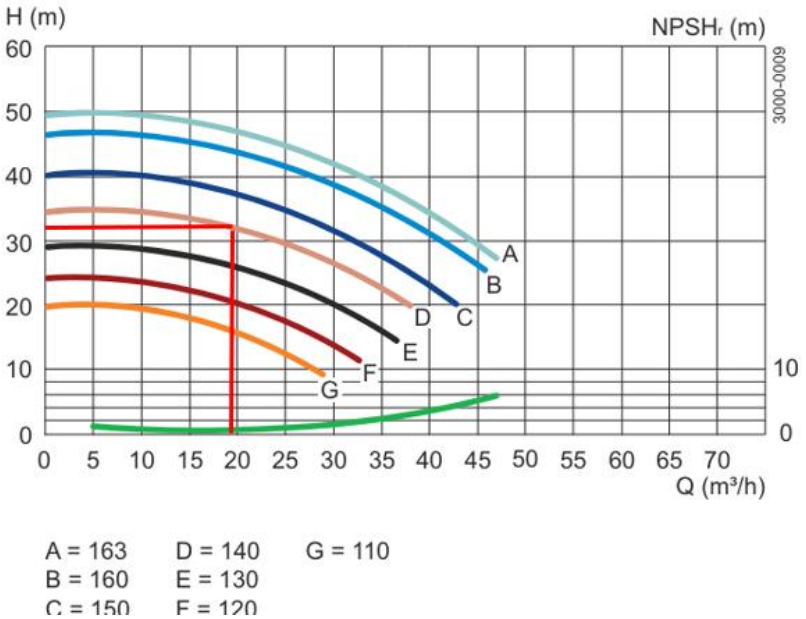


Fuente: Pumps for hygienic use

Para la selección de la bomba centrífuga se diseña la Figura 27 que hace referencia a las curvas de capacidad de las bombas Alfa Laval. Para la selección del tipo de bomba se debe considerar un flujo de 19m^3/h con una altura de 32,79m, si se observa la gráfica, los parámetros están dentro del rango de la Bomba LKh-10.

Se elige este tipo de bomba por su disponibilidad, ya que por ser industria alimenticia se manejan en stock bombas de este fabricante, también, por su facilidad de acoplamiento en tuberías de inoxidable con las uniones sms sanitarias y se cuenta con gran parte de los repuestos.

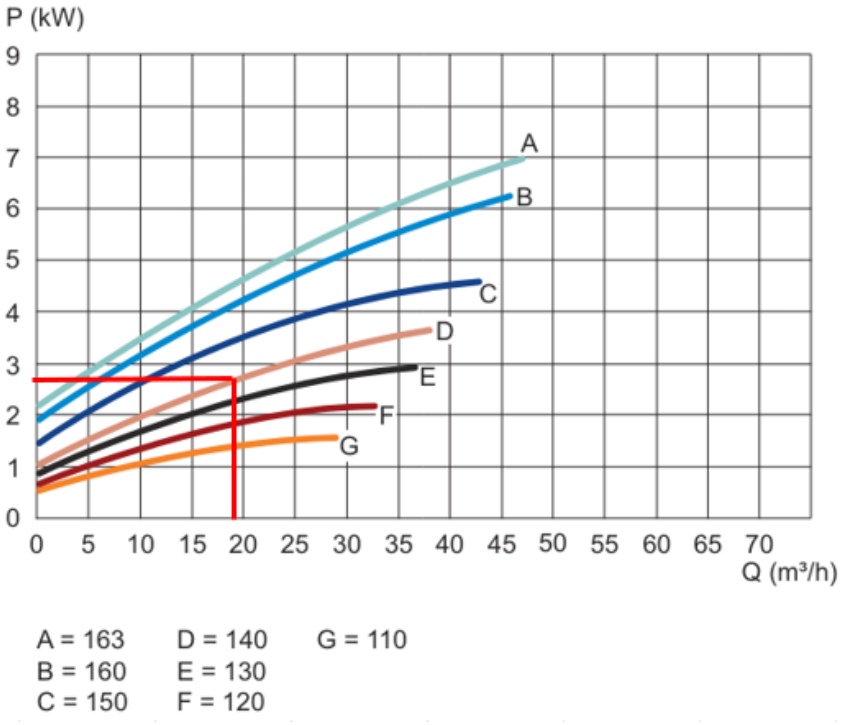
Figura 28 Curva LKH-10 altura vs Caudal



Fuente: Alfa Laval LKH Performance curves

En la figura anterior, están diseñadas las curvas de las bombas Alfa Laval LKH-10 donde se proyecta la altura de impulsión versus el flujo que puede alcanzar los distintos diámetros de impeler. Se marca con líneas rojas los datos para la selección del diámetro y aproxima una Bomba LKH-10 Tipo D con una medida de impeler de 140mm.

Figura 29 Curva LKH-10 Potencia vs Caudal



Fuente: Alfa Laval LKH Performance curves

La curva de potencia vs caudal presente en la Figura 27, está basada en motores de 8,6Kw a 3600rpm, se logra observar en la gráfica la cantidad de potencia requerida por la bomba para poder impulsar los 19 m^3/h y con el impeler de 140mm, se necesitan 2,7kW siendo este un valor muy cercano al calculado en la Tabla 15 de datos generales de selección de la bomba.

Tabla 16 Variables para la programación de Bomba M1

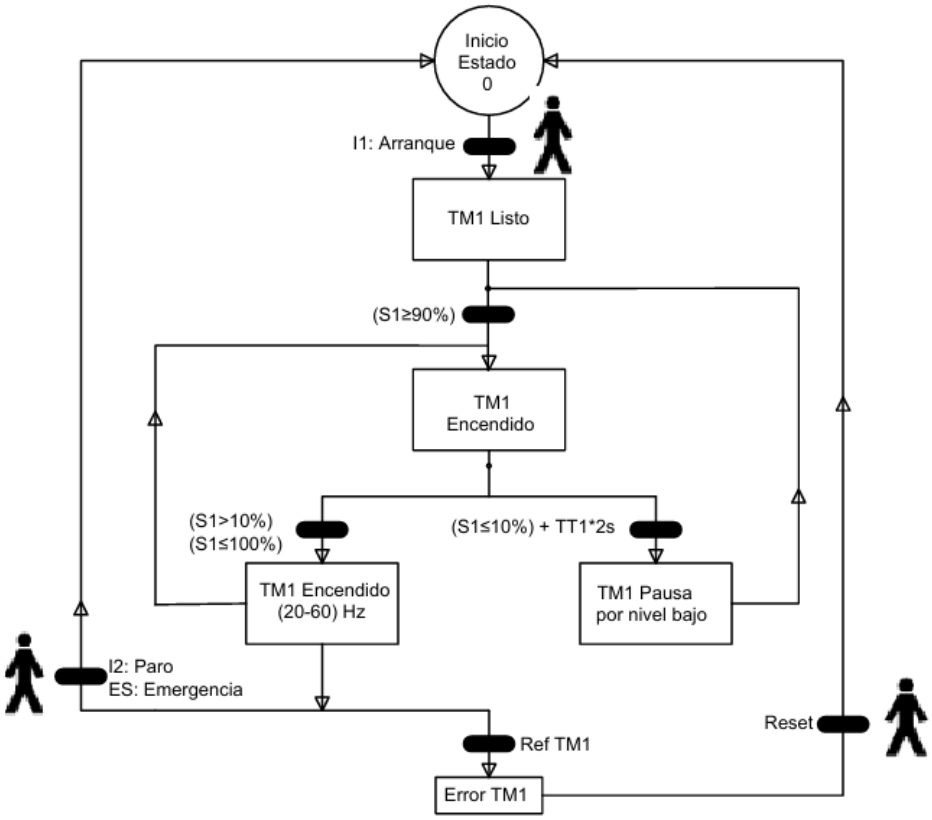
Variables	Característica
I1	Arranque Variable global de HMI
I2	Paro Variable global de HMI
ES	Paro de emergencia físico
S1	Sensor analógico
TT1	Temporizador de programa PLC
TM1	Convertidor de frecuencia de 5,5kW

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 16, se establecen las variables para la programación del funcionamiento de la bomba M1.

Para la Figura 30 se utilizan las variables de la tabla anterior.

Figura 30 Grafcet de funcionamiento bomba M1

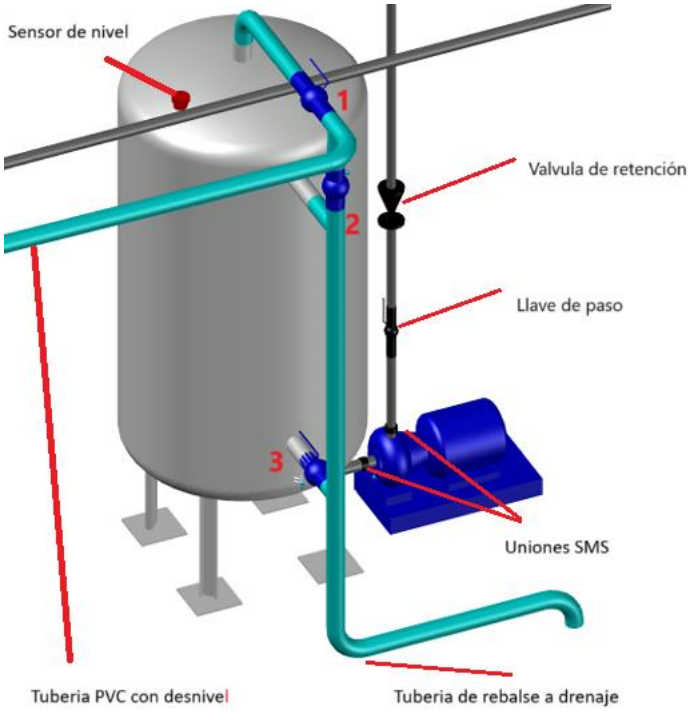


Fuente: Elaboración propia

En la figura anterior, se define el ciclo de trabajo para la bomba M1, esta se encuentra por debajo del tanque intermedio de recolección de aguas residuales y una de las condiciones iniciales de trabajo era que el tanque debe estar por encima del 90% si lo marca el sensor S1, para encender el variador de frecuencia TM1 después de esta función, el variador TM1 estará modulando dependiendo del nivel S1. En caso de alguna pérdida de referencia del variador TM1 se marcará error, o si recibe alguna señal de parada, el programa retrocede a paso 0. Por otra parte, si el S1 indica un porcentaje menor al 10% durante TT1: 2 segundos más tarde el

TM1 entrará en pausa a la espera de que el S1 sea mayor o igual al 90%, de esta manera, el programa entra en ciclo.

Figura 31 Diseño de tanque intermedio, llegada de agua residual de llenadoras y bomba M1.



Fuente: Elaboración propia

Con la figura anterior se desea demostrar el funcionamiento del tanque intermedio de recolección del agua que viene de las llenadoras. El tanque mide 3,5m^3 con una conexión directa de la tubería con desnivel, el sistema cuenta con llaves de paso, cada una tiene una función distinta, llave de paso No.1 generalmente permanece abierta ya que siempre debe llenar el tanque, si hubiera que intervenir la bomba o el tanque el agua se destinará al drenaje, cerrando la llave de paso No.1 y abriendo la llave de paso No.2. La llave de paso No.3 generalmente

permanece cerrada y se abrirá cuando sea necesario para drenar el agua del tanque.

En la figura también se muestra la bomba M1 con uniones SMS sanitarias que facilitan el trabajo a la hora de dar servicio a la misma, en su tubería de succión se instala una llave de paso y una válvula de retención con el objetivo de tener la llave y la tubería de impulsión cargada de agua para facilitar el servicio de la válvula.

Tabla 17 Datos de la tubería de succión y descarga de la bomba M2

Succión Bomba M2		Descarga Bomba M2	
k salida de tanque	0,5	4 Codos de 90˚	120
6 Codo de 90˚	180	2 Tee	60
1 codos de 45˚	16	1 Válvula Bola	3
1 Válvula de bola	3	1 Válvula Check	135
Le/D total	196	Salida	1
Longitud (m)	32	1 válvulas mariposa	40
Diámetro (m)	0,0627	Le/D total	358
Caudal m3/s	0,004100	Longitud (m)	40
Velocidad (m/s)	1,328	Diámetro (m)	0,0525
Reynols	103656,0775	Caudal m3/s	0,004100
Fs mooby (Diagrama)	0,0205	Velocidad (m/s)	1,894
e/D	0,0006380	Reynols	123794,973
		Fs mooby (Diagrama)	0,0212
		e/D	0,0007619

Fuente: Elaboración propia

Los primeros datos de la tabla anterior pertenecen a los accesorios que se utilizan en los tramos de tubería, tanto en la succión como en la descarga de la bomba, estos contienen sus valores expresados en *L/D*, longitudes equivalentes

entre diámetros internos de la tubería por usar y se tiene la suma de los coeficientes ***Le/D total.***

De igual forma, la tabla 17 muestra algunas características de los tramos de tubería, en el caso de la succión de la bomba M2, la longitud desde el silo hasta la bomba es de 32m, se instala con una tubería de 62,7mm (2 1/2”) de tal forma que la velocidad de succión es de 1,32m/s muy cerca de lo recomendado, también se cuenta con un número de Reynols en turbulencia, en conjunto con una rugosidad relativa de 0,006380 y todo esto graficado en el diagrama de Mooby se obtiene el factor de fricción *Fs* de 0,0205.

Para la descarga se tiene una longitud de tubería de aproximadamente 40m, se elige un diámetro de tubería de 52,5mm (2”), por lo que se obtiene una velocidad de 1,89m/s un poco por debajo de lo recomendado, pero en este caso se eligió este diámetro porque el diseño existente donde la tubería será instalada es de 2”, esto para poder mantener los flujos y no generar más pérdidas al sistema que se propone. La bomba M2 suministra al sistema de condensadores evaporativos y suavizadores de caldera, una característica de estos dos sistemas es que los flujos que utilizan son muy bajos, pero son continuos durante periodos largos de tiempo.

Tabla 18 Datos de la bomba M2 para el sistema

Bomba M2	
Pérdidas en la succión	1,29 m
Pérdidas en la descarga	4,52 m
Pérdidas en el sistema	5,81 m

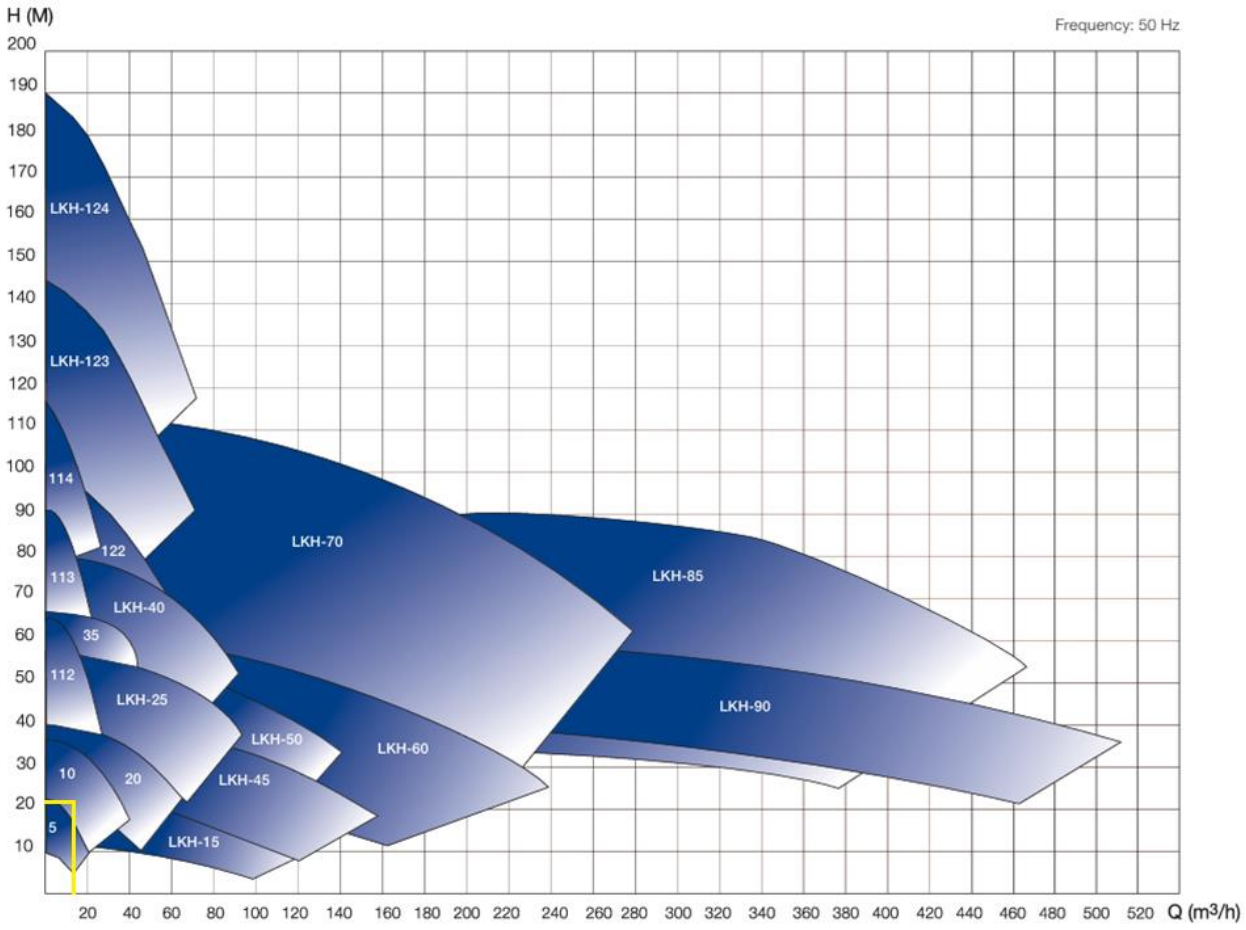
H de la bomba	20,81m
Potencia al fluido	833,13 watts
Potencia de la Bomba	1281,74 watts
Hp	1,73
Caudal	14,76 m^3/h

Fuente: Elaboración propia

La tabla 18 presenta los datos relevantes para la selección de la bomba M2, esta distribuye el agua almacenada del silo hacia los 6 condensadores evaporativos y los suavizadores de la caldera, entre estos dos sistemas se aplicaron mediciones de flujo en el campo y se encuentra que hay un consumo de 9,84 m^3/h, agregándole un factor de ampliación de 1,5 se obtiene 14,76 m^3/h para el suministro de los sistemas.

Las pérdidas del sistema se dividen entre los sectores de tubería de succión y la descarga de la bomba, a estos se le suman los accesorios y longitudes que tienen en cada tramo de tubería y por medio de la ecuación de Darcy-Weisbach se conoce la pérdida total que es de 5,973m, también se tiene una diferencia de alturas entre los sistema de 15m, por lo que la altura que debe vencer la bomba es aproximadamente de 20,97m, con un flujo de 14,76 m3/h, para esto es necesario aplicar 839,33 Watts al fluido, y ,con un rendimiento del 65%, se tiene que la potencia del motor será de 1291,29 Watts equivalente a 1,73hp

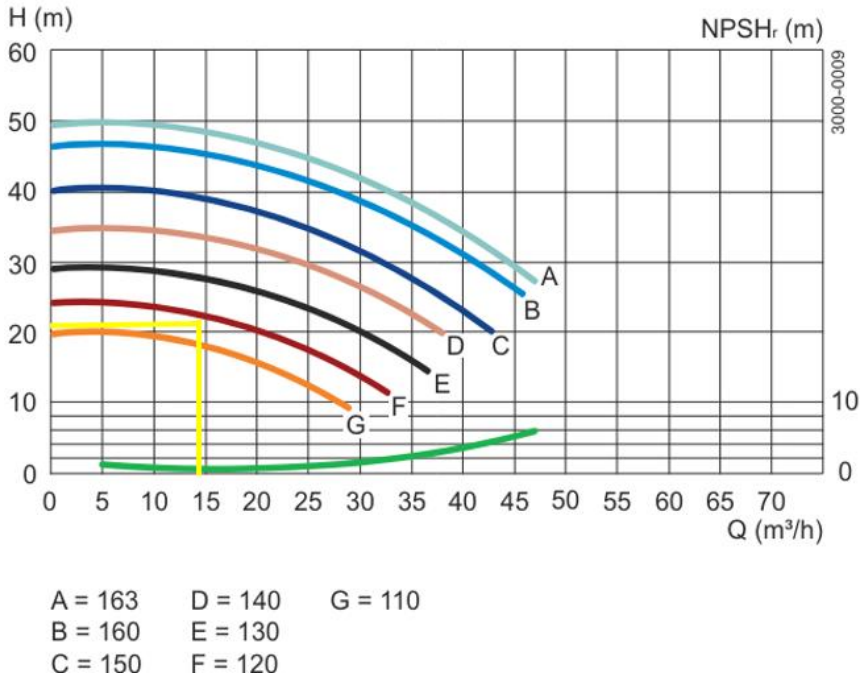
Figura 32 Curvas de Bombas Alfa Laval para selección Bomba M2



Fuente: Pumps for hygienic use

De igual forma que la selección de la bomba M1 se toma en cuenta este tipo de bomba por ser la más utilizada en las aplicaciones de la planta, se tiene una columna de agua de aproximadamente 20,97m y un flujo de 14,76m3/h, se traza las líneas de color amarillo de los datos del diseño y queda dentro de la bomba LKH-10.

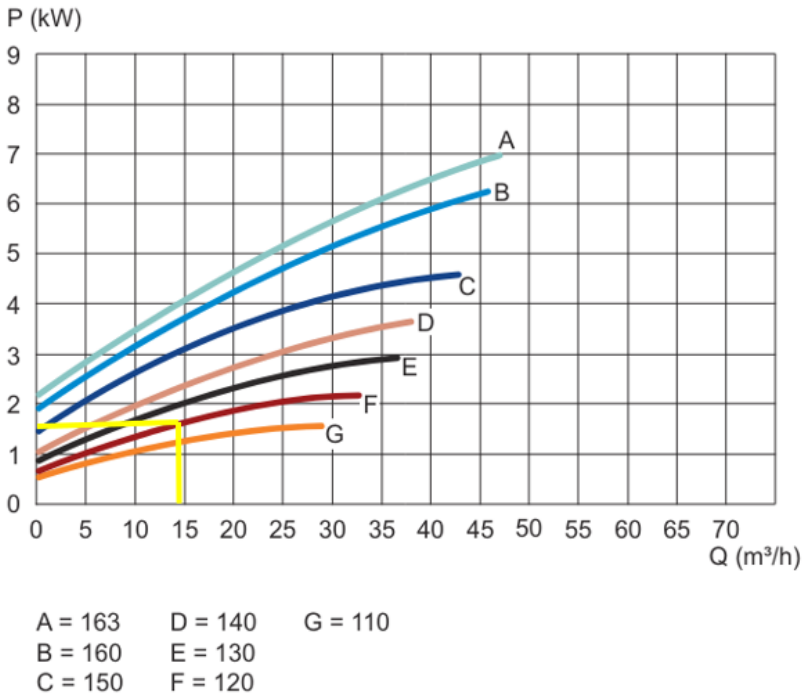
Figura 33 Curva LKH-10 altura vs Caudal



Fuente: Alfa Laval LKH Performance curves

Se trazan los valores con líneas amarillas en la gráfica de curvas de la Bomba LKH-10 y se considera que el tipo de bomba necesaria para cumplir con los valores de diseño sería el tipo F, esta cuenta con un impeler de 120mm según lo calculado en la gráfica.

Figura 34 Curva LKH-10 Potencia vs Caudal



Fuente: Alfa Laval LKH Performance curves

En la figura 34, se expone la potencia requerida según sea el flujo que necesite el sistema, para este proyecto el flujo es de 14,76m^3/h, por lo que la gráfica indica que con 1,7kW la bomba logra impulsar el flujo con el impeler de 120mm, de tal forma que la bomba M2 que suministra el agua del silo sería una LKH-10 Tipo F a 3600rpm.

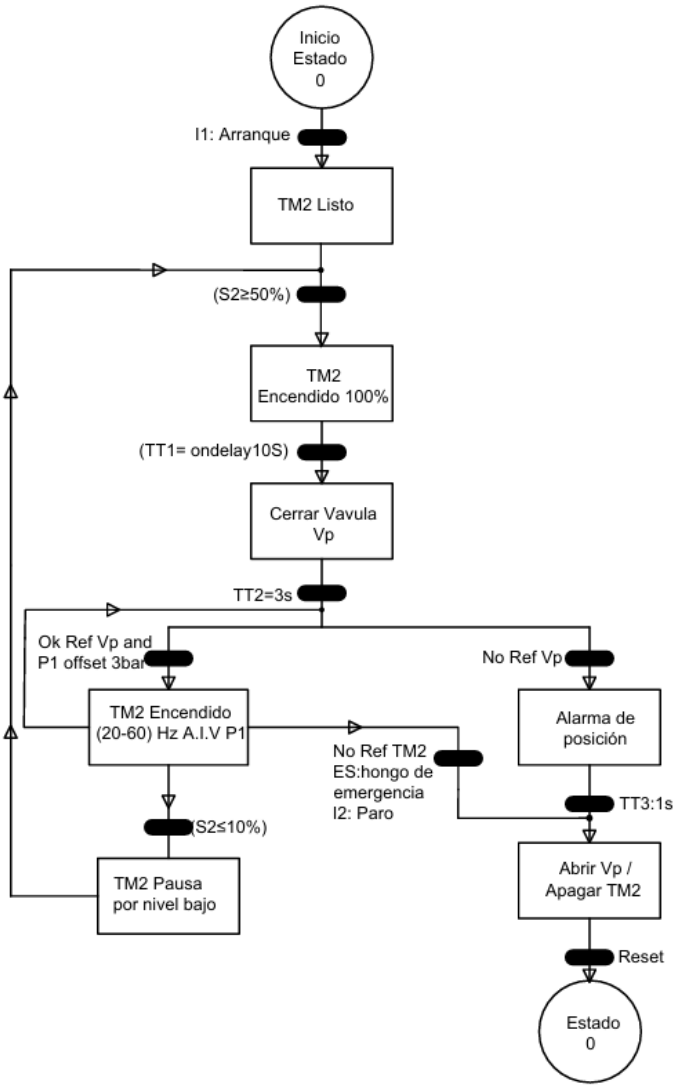
Tabla 19 Variables para la programación de Bomba M2

Variables	Característica
I1	Arranque Variable global de HMI
I2	Paro Variable global de HMI
ES	Paro de emergencia físico
S2	Sensor analógico ya existente
TT1	Temporizador de programa PLC
TT2	Temporizador de programa PLC
TT3	Temporizador de programa PLC
TM2	Convertidor de frecuencia de 5,5kW
VP	Señal de salida

Fuente: Elaboración propia

La tabla anterior hace referencia a las variables para programar el funcionamiento de la bomba M2, esta se explica a detalle en la siguiente figura.

Figura 35 Grafcet de funcionamiento bomba M1



Fuente: Elaboración propia

En la figura 35, se detalla el grafcet de funcionamiento de la bomba M2, se debe considerar que sus condiciones iniciales dependen del nivel de agua residual que tenga el silo, el nivel del agua debe estar al 50% o más para lograr encender el convertidor de frecuencia TM2; luego el TT1: con una espera de10 segundos, esto para evitar que se genere aire en las tuberías de suministro, luego, se cierra la válvula de agua potable Vp, posterior a este procedimiento el TT2: 3 segundos después el sistema revisa posición de la válvula Vp ; si no hubiese señal de posición

correcta el programa dará alarma de posición, TT2: un segundo después se abrirá la válvula de agua potable y se apagará el TM2, después de seguir estos pasos, se llega a la posición 0 del programa. Si la referencia de posición está correcta y la presión del sistema está a 3bar la bomba modulará su velocidad con respecto a la presión del sistema, también, se debe tener en cuenta que con la pérdida de alguna señal de referencia del TM2 o Vp, o alguna señal de paro, el programa abrirá la válvula Vp y apagará el TM2 ; por último ante una baja del nivel al 10%, el programa abrirá la válvula Vp y el TM2 entrará en pausa y esperará hasta que el nivel llegue al 50% para empezar el ciclo de nuevo.

Tabla 20 Costo por m3 de agua potable

EXTRACCIÓN Y DISTRIBUCIÓN (m^3)	₡ 32,67
COSTOS DE MANTENIMIENTO (m^3)	₡ 47,24
COSTO DE STAR	₡ 1014
Costo del m^3	₡ 1 093,91

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 20, se presenta el desglose de los costos del agua potable desde su extracción, distribución, mantenimiento y la salida por la planta de tratamiento (STAR).

4.4.1. Análisis de costos por compra de sellos mecánicos y ahorro por eliminar agua potable para la lubricación de sellos mecánicos de las bombas de trasiego

Tabla 21 Costo del consumo de agua potable para las bombas de trasiego

Equipo	Especificaciones según fabricante (L/min)	Parámetros iniciales (L/min)	Horas anuales 2023	Consumos anuales sin ningún control (m3)	Total, en m3 del año 2023, control completo del agua
Bomba de trasiego U1	0,400	1,5	4849	785,64	116,376
Bomba trasiego U4	0,400	1,5	4050	785,64	97,2
Bomba trasiego U7	0,400	2	6667	1047,51	160,008
Bomba trasiego U8	0,400	2	5390	1047,51	129,36
			Total	3666,30	502,944
				₡ 4 010 599,61	₡ 550 175,47

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 21, se detalla el consumo de agua potable para la lubricación de sellos mecánicos de las bombas de trasiego, aparecen los parámetros iniciales de cada bomba los cuales no tenían ningún tipo de control de agua; por tanto, al aplicar las fórmulas requeridas para obtener el total en m^3 que pueden gastar estos equipos, se obtiene que, durante el año 2023 se consumió 3666,30 m^3 con un costo de ₡ 4 010 599,61, se realiza un cálculo nuevo bajo parámetros de lubricación del fabricante de 0,400L/min y se contabilizan las horas de producción para obtener el consumo idóneo que deberían gastar estos equipos, y se obtiene como resultado 502,994 m^3 con un costo de ₡ 550 175,47 para el año 2023, se genera un ahorro de ₡ 3 460 424,14 anual, tan solo con un control adecuado del agua de lubricación de las bombas de trasiego.

De acuerdo con los datos de 2023, el costo de lubricar las cuatro bombas de trasiego solamente será de ₡ 550 175,47 anuales, para el 2024 ya se tiene ese ahorro proyectado. El plan piloto se ejecutó y dio buenos resultados, se eligieron los parámetros del fabricante y se colocaron electroválvulas para controlar el agua

de lubricación seguido de la monitorización de los desgastes en sellos mecánicos y comportamiento de las bombas.

En los análisis técnicos, se detalló el cambio de piezas para eliminar el agua que lubrican estos sellos mecánicos y la posible compra de nuevos sellos mecánicos adecuados al fluido que trasiegan las bombas.

Tabla 22 Costo de las piezas de recambio para eliminar el agua de lubricación.

Tipo de Bomba	N de serie	Sellos de carbono/silicio (SSS)	Anillo de arrastre
SolidC-2-140	178265	₡ 171 218	₡ 42 415
SolidC-1-130	178288	₡ 168 037	₡ 42 415
SolidC-2-160	178286	₡ 171 218	₡ 42 415
SolidC-1-140	178266	₡ 168 037	₡ 42 415
	Total	₡ 678 510	₡ 169 659

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 22, se especifica el costo de la pieza de recambio, por ejemplo, los sellos mecánicos de carbono – silicio sin lubricación, el costo total de los cuatro sellos mecánicos es de ₡ 678 510 y los cuatro anillos de arrastre ₡ 169 659, entonces, la inversión inicial para eliminar la lubricación de estas bombas alcanza los ₡ 848 169.

Tabla 23 Flujo de caja para la compra de sellos.

Ingresos	**Año 0**	**2025**
Ahorro por mejora		₡ 4 010 599,61

Total, Ingresos		₡ 4 010 599,61
Egresos		
Inversión inicial	₡ 848 169,00	
Mantenimiento		₡ 678 510,00
Total egresos	₡ 848 169,00	₡ 678 510,00
Saldo I -E	-₡ 848 169,00	₡ 3 332 089,61

Fuente: Elaboración propia

Según el flujo de caja anterior, la inversión inicial para la compra de los sellos mecánicos en el año 2024 para poner en marcha el ahorro sobre el consumo de agua, incluidos los datos de operación de los equipos, se estima en ₡ 4 010 599 por consumo del agua. El mantenimiento periódico por año, con un cambio completo de kit de servicio de sellos mecánicos tiene un costo de ₡ 678 510, dado que el costo de inversión es bajo, la recuperación se va a dar en el primer año de puesta en marcha del ahorro y en este mismo año se estima un ahorro de ₡ 3 162 430, a partir de los demás años el ahorro será de ₡ 3 332 089 cálculos estimados con datos del historial del año 2023.

Con estos datos, se puede generar un ahorro sobre el consumo de agua potable para lubricación de los sellos mecánicos, con especificaciones técnicas que sustentan y aseguran un buen funcionamiento de los equipos.

El impacto de este ahorro no es solamente económico, sino que se economizan 3666,30 m^3 de agua, un logro importante en un momento donde este preciado líquido tiende a escasear.

4.4.2. Análisis sobre la compra de un equipo para filtración de aguas residuales de las llenadoras Tetrapak.

Figura 36 Costos del agua potable sin estación de filtrado de agua vs con estación de filtrado de agua.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 36, se propone una gráfica para exponer el costo de consumo de agua potable que ocuparon las llenadoras en el año 2023, con un aproximado de ₡ 43 571 135 el equivalente a 39,8 millones de litros de agua.

Por otra parte, también se proyecta el ahorro que puede existir al instalar una estación de filtrado de aguas residuales, el fabricante estima que los equipos reducen el 95% de agua utilizada, por lo que el equipo solamente gastaría un 5% en recuperación de agua del sistema, en mantenimientos, entre otros; el gasto sería solamente de 1,9 millones de litros, equivalente a ₡ 2 178 556. El costo de piezas de recambio preventivo o correctivo, el consumo de productos químicos y el

consumo de energía se estima alcanzaría la suma de ₡ 5 000 000 por lo que el costo anual para mantener la estación de filtrado de aguas residuales es de ₡ 7 178 556 datos calculados con base en documentos del proveedor.

Las siguientes características justifican el análisis de flujo de caja para la compra del equipo.

Tabla 24 Datos para generar el flujo de caja para compra del equipo.

Variable	Valor	Características
Ahorro por consumo de agua	₡ 43 571 135,00	Incremento anual del 5%
Compra del equipo	₡ 433 260 000,00	Inversión inicial
Instalación	₡ 10 000 000,00	Personal y otros
Mantenimiento	₡ 7 178 556,77	Incremento anual del 5%
K de socios	11%	

Fuente: Elaboración propia

Los datos de la tabla 24 se refieren a las posibles variables para generar el flujo de caja y el análisis de la inversión para la compra del equipo de filtración de agua residual de las llenadoras. El ahorro por consumo se estima con datos del año 2023 el cual va a tener un incremento del 5% anual, la compra del equipo será parte de la inversión inicial, el proveedor estima que la instalación puede estar a cargo del personal, se requieren algunos artículos para el trabajo de instalación y del mantenimiento, también se consideran las siguiente variables: consumo de agua, consumo eléctrico, químicos, refacciones de recambio, entre otros; y, por último, la ***K*** de socios correspondiente al porcentaje que estima la empresa cuando estudian proyectos de inversión.

Tabla 25 Flujo de caja para la compra de la estación de filtración de aguas residuales para las llenadoras.

Ingresos	Año 0	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2031	2033	2034	2035
Ingreso por ahorro		₡ 43 571 135,00	₡ 45 749 691,75	₡ 48 037 176,34	₡ 50 439 035,15	₡ 52 960 986,91	₡ 55 609 036,26	₡ 58 389 488,07	₡ 61 308 962,47	₡ 64 374 410,60	₡ 67 593 131,13	₡ 70 972 787,68
Total ingresos		₡ 43 571 135,00	₡ 45 749 691,75	₡ 48 037 176,34	₡ 50 439 035,15	₡ 52 960 986,91	₡ 55 609 036,26	₡ 58 389 488,07	₡ 61 308 962,47	₡ 64 374 410,60	₡ 67 593 131,13	₡ 70 972 787,68
Flujo neto												
Egresos												
Invesion inicial	₡ 433 260 000,00											
Instalacion	₡ 10 000 000,00											
Mantenimiento		₡ 7 158 556,00	₡ 7 516 483,80	₡ 7 892 307,99	₡ 8 286 923,39	₡ 8 701 269,56	₡ 9 136 333,04	₡ 9 593 149,69	₡ 10 072 807,17	₡ 10 576 447,53	₡ 11 105 269,91	₡ 11 660 533,40
Total egresos	₡ 443 260 000,00	₡ 7 158 556,00	₡ 7 516 483,80	₡ 7 892 307,99	₡ 8 286 923,39	₡ 8 701 269,56	₡ 9 136 333,04	₡ 9 593 149,69	₡ 10 072 807,17	₡ 10 576 447,53	₡ 11 105 269,91	₡ 11 660 533,40
FLUJO NETO EFECTIVO	-₡ 443 260 000,00	₡ 36 412 579,00	₡ 38 233 207,95	₡ 40 144 868,35	₡ 42 152 111,76	₡ 44 259 717,35	₡ 46 472 703,22	₡ 48 796 338,38	₡ 51 236 155,30	₡ 53 797 963,07	₡ 56 487 861,22	₡ 59 312 254,28
FLUJO NETO ACUMULADO		₡ 36 412 579,00	₡ 74 645 786,95	₡ 114 790 655,30	₡ 156 942 767,06	₡ 201 202 484,42	₡ 247 675 187,64	₡ 296 471 526,02	₡ 347 707 681,32	₡ 401 505 644,38	₡ 457 993 505,60	₡ 517 305 759,88
FLUJO NETO VALOR PRESENTE		₡ 32 804 125,23	₡ 31 030 929,27	₡ 29 353 581,74	₡ 27 766 901,65	₡ 26 265 988,04	₡ 24 846 204,91	₡ 23 503 166,80	₡ 22 232 725,35	₡ 21 030 956,42	₡ 19 894 147,96	₡ 18 818 788,61
FLUJO NETO ACUMULADO PRESENTE		₡ 32 804 125,23	₡ 63 835 054,49	₡ 93 188 636,23	₡ 120 955 537,88	₡ 147 221 525,92	₡ 172 067 730,82	₡ 195 570 897,63	₡ 217 803 622,98	₡ 238 834 579,40	₡ 258 728 727,36	₡ 277 547 515,97

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 25, se muestra el flujo de caja para el análisis de la compra de equipo, este se aproxima a los 10 años y solamente se toma en cuenta el ahorro por consumo de agua como ingreso, con un incremento del 5% cada año y el único egreso es el costo de mantener el equipo en operación durante el año, de igual forma, con un incremento de 5% anual.

Tabla 26 Resumen del flujo de caja a 10 años

K	11,00%
VNA	₡277 547 515,97
VAN	-₡ 165 712 484,03
TIR	2%
PR	N/A

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 26, se detalla el resumen obtenido del flujo de caja, por lo cual no genera parámetros positivos para el proyecto ya que el VAN tiene valores negativos, esto indica que el proyecto aun no es recuperable en términos de 10 años y el TIR da un 2%, un valor muy bajo para un proyecto de este tipo; además, está por debajo

del descuento que esperan lo socios anualmente, de tal forma que este proyecto no es muy rentable y se necesita más tiempo para que logre retornar el dinero de la inversión.

Tabla 27 Resumen flujo de caja a 24 Años

K	11,00%
VNA	₡446 960 332,09
VAN	₡ 3 700 332,09
TIR	11,1%
PR	24 años

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 27, se observa un resumen de caja para la compra del equipo, pero en este caso se proyectó a 24 años para establecer las diferencias que ocurren cuando se modifican los años del flujo de caja sobre un proyecto de inversión. Durante este periodo el VAN es positivo, un buen punto para el proyecto, el TIR es de 11,1% siendo mayor e igual a la K de los socios, una variable importante a la hora de realizar inversiones en proyectos y, por último, el periodo de recuperación es de 24 años, a partir de este año, todo lo que se genere serán ganancias por ahorro del consumo de agua potable, cabe recalcar que aun siendo un proyecto con larga recuperación en la parte económica, está en juego un aspecto más importante como lo es el agua. Se habla aproximadamente de 39,8 millones de litros de agua al año que se gastan en la lubricación y refrigeración de estas llenadoras, el lograr reducir esa cantidad de agua es provecho para un pozo, para el manto acuífero, hasta para la misma planta de tratamiento al no tratar con esta cantidad de agua es un logro importante y gran avance en la futura gestión sobre este recurso.

4.4.3. Análisis financiero sobre propuesta de reutilización del agua de las llenadoras hacia condensadores evaporativos y caldera

Tabla 28 Costos de la propuesta de diseño en el cuarto de las llenadoras.

Cuarto de llenadoras			
Materiales Mecánicos	**Cantidad**	**Precio unitario**	**Total**
Tubería de inox 1"	10	₡ 56 040,00	₡ 560 400,00
Tubería de inox 1 1/2"	1	₡ 107 500,00	₡ 107 500,00
Tubería de inox 2	1	₡ 121 300,00	₡ 121 300,00
Tubería de inox 2 1/2	3	₡ 152 534,00	₡ 457 602,00
Codo de 2 1/2"	2	₡ 13 900,00	₡ 27 800,00
Unión sms 1 1/2"	1	₡ 7 400,00	₡ 7 400,00
Unión sms 2 1/2"	2	₡ 13 450,00	₡ 26 900,00
Te 1"	12	₡ 4 632,00	₡ 55 584,00
Codo largo de 90˚ de 1"	11	₡ 2 932,00	₡ 32 252,00
Reducción 1" X 1 1/2"	3	₡ 2 924,00	₡ 8 772,00
Reducción 1 " x 2"	2	₡ 4 200,00	₡ 8 400,00
Reducción 1" x 2 1/2"	3	₡ 11 200,00	₡ 33 600,00
Reducción 1 1/2" X 2"	1	₡ 4 600,00	₡ 4 600,00
Reducción 2" x 2 1/2"	1	₡ 9 500,00	₡ 9 500,00
Te 1 1/2"	2	₡ 5 000,00	₡ 10 000,00
Te 2"	2	₡ 10 300,00	₡ 20 600,00
Te 2 1/2"	3	₡ 13 550,00	₡ 40 650,00
Mano de obra			₡ 1 013 360,00
		Total	₡ 2 546 220,00

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior, se detallan los costos de los materiales y la cantidad necesaria para la propuesta de reutilización de las aguas residuales de las llenadoras, tanto la tubería como los accesorios mencionados son de inoxidable, sin costura en cedula 40, se elige este material porque el cuarto de las llenadoras es una área limpia donde se envasa el producto y los materiales deben ser fáciles

para lavar y que no generen residuos; también, al ser expuestos y cercanos al suelo se asegura la integridad de la instalación. Los costos de esta tabla 26 y las siguientes tablas se toman de Carbone Costa Rica y otros del mismo almacén de la empresa.

Tabla 29 Costos de la propuesta de diseño desde tubería con desnivel-tanque intermedio-silo.

Tubería con desnivel hacia tanque intermedio -Silo			
Materiales mecánicos	**Cantidad**	**Precio unitario**	**Total**
Tubería de PVC 4"	23	₡ 53 861,33	₡ 1 238 810,48
Codo 45˚ PVC 4"	8	₡ 9 500,00	₡ 76 000,00
Codo 90˚ PVC 4	4	₡ 11 000,00	₡ 44 000,00
TEE PVC 4"	3	₡ 15 000,00	₡ 45 000,00
Llaves de paso PVC 4"	3	₡ 16 000,00	₡ 48 000,00
Tanque intermedio	1	₡ 1 204 128,00	₡ 1 204 128,00
Unión sms inox 2 1/2"	1	₡ 15 800,00	₡ 15 800,00
Codo 90˚ Inox 2 1/2"	1	₡ 13 773,00	₡ 13 773,00
Unión sms inox 2"	1	₡ 10 800,00	₡ 10 800,00
Tubería inox 2"	10	₡ 121 204,00	₡ 1 212 040,00
Check inox 2"	1	₡ 294 000,00	₡ 294 000,00
Llave de paso inox 2"	1	₡ 20 000,00	₡ 20 000,00
Codo 90˚ inox 2"	5	₡ 6 010,00	₡ 30 050,00
Codo 45˚ inox 2"	3	₡ 6 600,00	₡ 19 800,00
Materiales eléctricos	**Cantidad**	**Precio unitario**	**Total**
Tubería EMT	3	₡ 2 900,00	₡ 8 700,00
Unión EMT	3	₡ 320,00	₡ 960,00
Cable THHN 10	70	₡ 480,00	₡ 33 600,00
sensor de nivel	1	₡ 2 441 250,00	₡ 2 441 250,00
Bomba, LKH10/140mm 5,5kW	1	₡ 2 362 500,00	₡ 2 362 500,00
Mano de obra			₡ 2 520 040,00
		Total	₡ 11 639 251,48

Fuente: Elaboración propia

La tabla anterior hace referencia a los costos de materiales tanto mecánicos como eléctricos, esta sección se toma desde la bodega, ubicada en la parte inferior del cuarto de llenado hasta el cuarto de máquinas, una distancia de 123 metros de tubería en PVC SDR41 con un desnivel del 2.03% hasta llegar al cuarto de máquinas donde se instalará un tanque intermedio con una capacidad de 3.5m^3 con medición de nivel y una bomba centrífuga encargada de impulsar el agua en tubería de Inoxidable cedula 40 de 2" hasta el silo de almacenamiento.

Tabla 30 Costo de la propuesta de diseño desde el silo hasta el suministro a condensadores evaporativos y suavizadores de caldera.

Tubería de silo a suministro de caldera y condensadores evaporativos			
Materiales Mecánicos	**Cantidad**	**Precio unitario**	**Total**
Tubería de inox 2 1/2"	6	₡ 53 861,33	₡ 323 167,95
Codo 45˚ inox 2 1/2"	1	₡ 4 235,70	₡ 4 235,70
Codo 90˚ Inox 2 1/2"	6	₡ 602 064,00	₡ 3 612 384,00
Unión sms inox 2 1/2"	1	₡ 13 450,00	₡ 13 450,00
Tubería inox 2"	4	₡ 121 204,00	₡ 484 816,00
Codo 90˚ inox 2"	2	₡ 6 010,00	₡ 12 020,00
Tee inox 2"	2	₡ 10 300,00	₡ 20 600,00
Unión sms inox 2"	1	₡ 10 800,00	₡ 10 800,00
Check inox 2"	1	₡ 294 000,00	₡ 294 000,00
Llave de paso inox 2"	1	₡ 20 000,00	₡ 20 000,00
Check inox 3"	1	₡ 341 250,00	₡ 341 250,00
Llave de paso inox 3"	2	₡ 38 000,00	₡ 76 000,00
Mariposas Alfa Laval 3"	1	₡ 115 500,00	₡ 115 500,00
Medidor de flujo 3"	1	₡ 112 875,00	₡ 112 875,00
Materiales eléctricos	**Cantidad**	**Precio unitario**	**Total**
Tubería EMT	4	₡ 2 900,00	₡ 11 600,00
Unión EMT	4	₡ 320,00	₡ 1 280,00
Cable THHN 10	80	₡ 480,00	₡ 38 400,00
Bomba, LKH10/120MM 5,5kW	1	₡ 2 100 000,00	₡ 2 100 000,00
Sensor de presión	1	₡ 169 575,00	₡ 169 575,00
Mano de obra			₡ 3 0 13 360,00

Total	₡	10 775 313,65

Fuente: Elaboración propia

Por último, la Tabla 30 reúne los costos de materiales mecánicos y eléctricos del sector del silo, este sector toma en cuenta la succión de la bomba M2 que suministra el agua almacenada del silo hacia los dos sistemas ajenos, como lo son los condensadores evaporativos y los suavizadores de la caldera.

Tabla 31 Resumen de los costos de la propuesta del diseño

Resumen de los costos		
Materiales	₡	24 960 785,13
Soldadura y otros	₡	4 000 000,00
Imprevistos 15%	₡	3 744 117,77
Total, del proyecto	₡	32 704 902,89

Fuente: Elaboración propia

La tabla 31 resume los costos por materiales estos rondan los ₡ 24 960 785,13 incluyen la soldadura y los materiales de trabajo, alrededor de ₡ 4 000 000,00 y se asigna un 15% de imprevistos generales del proyecto, un aproximado de ₡ 3 744 117,77 para un total de ₡ 32 704 902,89. La propuesta se está calculando con la mano de obra propia de la empresa ya que se cuenta con el personal calificado y muchos materiales ya existen en los almacenes propios.

Tabla 32 Costos del mantenimiento anual del sistema

Material	**Unidades**	**Precio**
Kit de sellos 2 bombas	2	₡ 364 350,00
Kit de servicio válvula check 3"	1	₡ 47 250,00

Kit de servicio válvula check 2"	2	₡ 89 250,00
Kit de servicio sanitario válvula LKB	1	₡ 23 625,00
Kit de servicio actuador de válvula	1	₡ 39 375,00
	Total	₡ 563 850,00

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 32, se detallan los costos por materiales: el fabricante recomienda cambio de refacciones anuales de los dispositivos que se van a usar en la propuesta del proyecto con un costo de ₡ 563 850,00, este rubro correspondería al mantenimiento preventivo anual del diseño de la propuesta de reutilización del agua.

Tabla 33 Datos para generar el flujo de caja propuesta del diseño

Variable	Valor	Características
Ahorro por consumo de agua	₡ 43 571 135,00	Incremento anual del 5%
Costo del diseño	₡32 704 902,89	Inversión inicial
Mantenimiento	₡ 563 850,00	Incremento anual del 5%
K de socios	11%	

Fuente: Elaboración propia

La información anterior de la tabla 33 reúne los datos para la generación del flujo de caja. Se estima que el ahorro por reutilización del agua es de ₡ 43 571 135,00, el costo por mantenimiento anual después del primer año es de ₡ 563 850,00 y el costo del diseño para la recolección de las agua residuales de la llenadoras es de ₡ 32 704 902,89, los socios proponen un porcentaje de descuento del 11%, de tal manera que, no es necesario generar el flujo de caja ya que, como se puede observar, la inversión inicial es inferior al ahorro y la recuperación de este proyecto se podría alcanzar en 7 u 8 meses desde la puesta en marcha.

Capítulo V

Conclusiones

1- Se llevó a cabo una recopilación de datos sobre los caudales de las aguas residuales de los sistemas de lubricación y refrigeración de equipos de producción, donde se logra comprobar los desperdicios de agua potable, por lo que surge la necesidad de implementar una adecuada gestión del recurso hídrico para un mejor aprovechamiento.

2- Se diseñó una matriz de los equipos que utilizan agua potable en los sistemas, esto para categorizar los equipos bajo las variables más relevantes que afectan al consumo de agua potable. La matriz permite priorizar los equipos donde existe mayor oportunidad de mejora, una vez identificados se les aplicó un plan piloto de ahorro de agua sobre los equipos.

3- Se aplicó un análisis físico-químico al agua residual del aire estéril de la llenadora A3, siendo esta la máquina con más horas de producción, esto para crear una propuesta de reutilización de aguas residuales de las llenadoras y generar un sistema que permita volver a utilizar en agua en los mismos equipos, sin embargo, posterior al análisis se determinó otra opción de reutilización de esta agua residual en sistemas donde no sea necesario tratar el agua para poderla reutilizar.

4- Por medio del plan piloto que se llevó a cabo para las bombas centrífugas de trasiego, se realiza una investigación y un análisis técnico y se logra concluir que el uso de agua en los sellos mecánicos de estas bombas no es necesario por sus características de funcionamiento, según lo que especifica el fabricante. Esta posibilidad genera un ahorro de ₡ 4 000 000,00 anuales por consumo de agua potable para lubricación de sellos mecánicos, también representa un ahorro de 3666 m^3 de agua anuales, un impacto importante sobre el uso del agua potable que se desperdicia desde el año 2016.

5- Se generó un análisis financiero sobre la compra de la estación de filtrado de aguas residuales de las llenadoras, se analizaron variables de costo de mantenimiento y datos financieros de la empresa, para obtener el flujo de caja a 10 años plazo y se determinó que en este tiempo no es posible recuperar la inversión sobre la compra del equipo, dado que los valores del VAN son negativos y el TIR no supera el 2%. Se proyecta el flujo de caja a 24 años y solamente a este plazo se recupera la inversión inicial.

6- Se creó una propuesta de diseño electromecánico para la recuperación de las aguas residuales de las llenadoras. El costo de la propuesta, con mano de obra de la misma empresa, alcanza el monto de ₡ 29 254 902,89 y el ahorro por agua potable anual ronda los ₡ 43 571 135,00. La importancia de la propuesta es el gran aprovechamiento que se le pueda dar al recurso

hídrico, teniendo en cuenta que son alrededor de 39.8 millones de litros de agua anuales que se dejarían de gastar en los sistemas donde se vaya a reutilizar.

Capítulo VI

Recomendaciones

1- Se recomienda la instalación de medidores de flujo por sectores para establecer nuevas estrategias y poder identificar los consumos de agua potable por secciones ya que actualmente solo se cuenta con un flujómetro para medir el consumo total de la planta.

2- Se sugiere dar seguimiento al uso del agua potable en los equipos de producción que utilizan agua en los sistemas de lubricación y refrigeración, ya que el proyecto solamente abarcó algunos equipos debido al alcance del mismo, quedaron fuera otros donde se puede continuar la disminución y hasta la reutilización del agua en algunos sistemas.

3- Para esta investigación se utilizaron una serie de manuales de bombas centrífugas Alfa Laval y un libro de Hanbook pumb del mismo fabricante, por tanto, se recomienda a los diferentes talleres de la empresa investigar e incluir estos archivos a las bibliotecas virtuales ya que es información vital si se cuenta con equipos de este tipo, para velar por el buen funcionamiento y para tomarlo en cuenta en proyectos relacionados con bombas centrífugas.

4- Se debe implementar, a nivel empresa, una revisión de aquellas bombas que utilizan el agua potable para la lubricación del sello, utilizar el manual de

handbook pumb de Alfa Laval para seleccionar sellos mecánicos, ya que puede existir la posibilidad que algunos equipos tengan un sello mal seleccionado y se generen desperdicios de agua potable como se mostró en este proyecto.

5- Se recomienda implementar la propuesta de diseño que se llevó a cabo sobre la reutilización de las aguas de las llenadoras, ya que de esta manera se puede utilizar esas aguas residuales en sistema de alta demanda como lo son los suavizadores de la caldera y los condensadores evaporativos, esto generaría grandes ahorros económicos y un mejor aprovechamiento a 39 830 640,00 litros de agua potable que consumen las llenadoras en un año de producción.

Bibliografía

Galeano O, Paula A. (2020) Gestión del agua en la industria alimentaria como estrategia empresarial para disminuir la huella hídrica generada en el desarrollo de su actividad económica. Recuperado de: https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/17181

Wong, S. F. Propuesta de un sistema de tratamiento de aguas residuales para su reutilización y reducción de los costos de consumo de agua en la empresa Alpes Chiclayo S. A. C. Recuperado de: http://hdl.handle.net/20.500.12423/4235

Ana Clara, S. (2019) "Reducción y reutilización de agua en proceso productivo en la industria química: propuestas para la gestión del agua de descontaminación." Recuperado de: https://ri.unlu.edu.ar/xmlui/handle/rediunlu/1159

Ronald, R. A y Hagler, T. R. (2022). "Diseño de un prototipo de reutilización de agua basado en la norma ANSI para reducir el consumo de agua del proceso de elaboración de leche en la empresa Gloria S.A." Universidad Tecnológica del Perú. Recuperado de: https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/6488

Eduard, R. b. Paulo, B. C. Carolina, A. C. (2022) "Evaluación de la huella de agua y la gestión del recurso hídrico en las industrias" Recuperado de: https://revistas.uned.ac.cr/index.php/biocenosis/article/view/4287

Aquae fundación. (2021) ¿Qué industrias consumen más agua? Recuperado de: https://www.fundacionaquae.org/que-industrias-consumen-mas-agua/

Pacto Mundial Red España. (s.f) ¿En qué consiste el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6? Recuperado de: https://www.pactomundial.org/ods/6-agua-limpia-y-saneamiento/

Tecnológico de Costa Rica. (2023) Agua, un tesoro invaluable. Recuperado de: https://www.tec.ac.cr/pensis/articulos/agua-tesoro-invaluable

Linda Vierecke. (2022). Made for Minds. Escasez de agua en Costa Rica. Recuperado de: https://www.dw.com/es/la-lucha-por-el-agua-en-costa-rica/a-60957295#:~:text=A%20pesar%20del%20clima%20tropical,agua%2C%20descuidadas%20durante%20mucho%20tiempo.

UNESCO (2021) Abordar la escasez y la calidad del agua. Recuperado de: https://es.unesco.org/themes/garantizar-suministro-agua/hidrologia/escasez-calidad

Laura Rodríguez R. (2019) Universidad de Costa Rica. Costa Rica enfrentó 134 conflictos por el agua en una década. Recuperado de: https://www.ucr.ac.cr/noticias/2019/3/27/costa-rica-enfrento-134-conflictos-por-el-agua-en-una-decada.html

José Sánchez S (2022) Universidad de Guayaquil Facultad de Ingeniería Industrial. Diseño de un sistema de tratamientos de aguas residuales mediante la reutilización del agua para reducir su consumo en Servientrega S.A Recuperado de:https://repositorio.ug.edu.ec/server/api/core/bitstreams/897832a3-3025-4371-b9c0-35a29b2d6f53/content

Marco, C.O Joyce, A.P (2023) Universidad Politécnica Salesiana. Diseño de un sistema de reutilización de aguas residuales tratadas en el Camal Municipal de Guayaquil. Recuperado de: ttps://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/25146/1/UPS-GT004445.pdf

Telvia, A.L Yaritza, R,V (2019). Scielo Biblioteca electrónica. Diseño de una tecnología para tratar el agua residual de Cervecería Recuperado de: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S222461852019000300539&script=sci_arttext&tlng=pt

Alfa Laval. (2002). All you need to know. Alfa Laval Pumb Handbook. (Segunda Edición) página 67- 83. Recuperado de: pumps-for-hygienic-use---the-complete-line---brochure.pdf

Alfa Laval. (2022). Insttruction Manual. SolidC Pumb. Recuperado desde: https://www.alfalaval.com/globalassets/documents/products/fluid-handling/pumps/centrifugal-pumps/solidc/alfa-laval-solidc-pump---instruction-manualese00797en.pdf?_gl=1*g6h5x2*_gcl_au*ODc0NDIxNzQ1LjE3Mjk1MTcyMA.

Alfa Laval. (2023). Insttruction Manual. LKH10 Pumb. Recuperado desde: Ahttps://assets.alfalaval.com/documents/p3b57b8c/alfa-laval-ese00698-lkh-manual-en-gb.pdf

Colegio federado de ingenieros y arquitectos de Costa Rica. (2017). Código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones. Recuperado desde: https://cso.hermes-soft.com/ver/divulgacion/construccion/normativa/8.%20Codigo%20Instalacion%20Hidraulica.pdf

Anexo

Anexo A. Fotografías sobre el agua residual de los equipos de llenado

Figura 37 Salidas de aguas de una llenadora

Fuente: Elaboración propia

Figura 38 Salida de agua del sistema de aire estéril

Fuente: Elaboración propia

Figura 39 Salida de agua residual del sistema de refrigeración

Fuente: Elaboración propia

Figura 40 Salida de agua residual debajo de la llenadora A3

Fuente: Elaboración propia

Anexo B. Fotografías sobre el agua residual de los equipos de proceso

Figura 41 Bombas de trasiego de izquierda a derecha, U7, U8, U4, U1.

Fuente: Elaboración propia

Anexo C. Fotografías sobre mediciones de los sellos mecánicos

Figura 42 Medición de sello giratorio

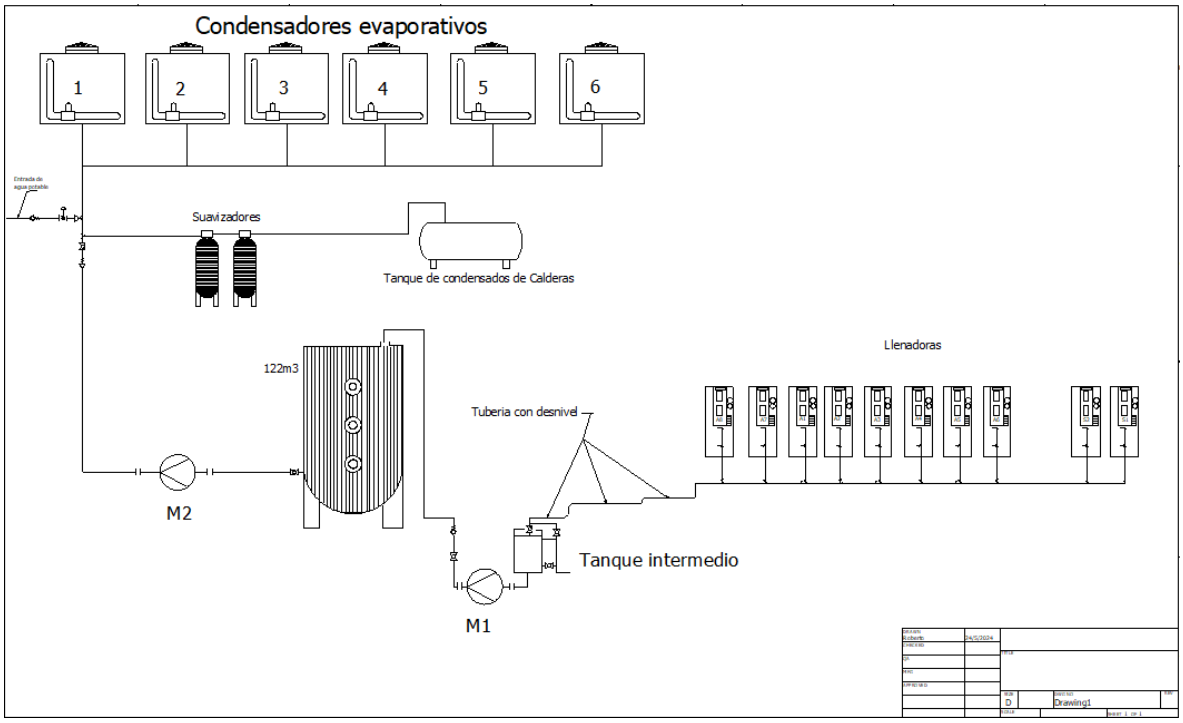
Fuente: Elaboración propia

Figura 43 Medición de sello estático

Fuente: Elaboración propia

Anexo D. Croquis sobe la propuesta de diseño de reutilización del agua residual

Figura 44 Diagrama completo para la recuperación del agua residual de las llenadoras



Fuente: Elaboración propia

Anexo E. Carta de autorización para uso y manejo de los trabajos finales de graduación.

CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA USO Y MANEJO DE LOS TRABAJOS FINALES DE GRADUACIÓN
UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL
(Trabajo Individual)

Alajuela, Fecha.
Señores
Vicerrectoría de Investigación
Sistema Integrado de Bibliotecas y Recursos Digitales
Estimados señores:

Yo **Roberto Steven Castro Obando** portador (a) de la cédula de identidad número **2-0708-0398**. En mi calidad de autor (a) del trabajo de graduación titulado: **Análisis sobre los consumos del agua potable en los sistemas de refrigeración y lubricación de los equipos de producción en una planta de bebidas lácteas en Alajuela, 2024**

El cual se presenta bajo la modalidad de:
_____ Proyecto de Graduación
___X__ Tesis de Graduación
Presentado en la fecha **06-03-2025**, autorizo a la Universidad Técnica Nacional, sede Central, para que mi trabajo pueda ser manejado de la siguiente manera:

Autorizo	SI	NO
Conservación de ejemplares para préstamo y consulta física en biblioteca		
Inclusión en el catálogo digital del SIBIREDI (Cita catalográfica)		

Comunicación y divulgación a través del Repositorio Institucional		
Resumen (Describe en forma breve el contenido del documento)		
Consulta electrónica con texto protegido		
Descarga electrónica del documento en texto completo protegido		
Inclusión en bases de datos y sitios web que se encuentren en convenio con la Universidad Técnica Nacional contando con las mismas condiciones y limitaciones aquí establecidas.		

Por otra parte, declaro que el trabajo que aquí presento es de plena autoría, es un esfuerzo realizado de forma personal, académica e intelectual con plenos elementos de originalidad y creatividad. Garantizó que no contiene citas, ni transcripciones de forma indebida que puedan devenir en plagio, pues se ha utilizado la normativa vigente de la American Psychological Association (APA). Las citas y transcripciones utilizadas se realizan en el marco de respeto a las obras de terceros. La responsabilidad directa en el diseño y presentación son de competencia exclusiva, por tanto, eximo de toda responsabilidad a la Universidad Técnica Nacional.

Consciente de que las autorizaciones no reprimen mis derechos patrimoniales como autor del trabajo. Confío en la que Universidad Técnica Nacional respete y haga respetar mis derechos de propiedad intelectual.

Firma del estudiante: _____

Cédula: _____

Día: _____

Anexo F. Boleta de presentación formal de trabajos finales de graduación.

BOLETA DE PRESENTACIÓN FORMAL DE TRABAJOS FINALES DE GRADUACIÓN

UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL

SOBRE EL AUTOR (ES) DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN				
Primer apellido	**Segundo apellido**	**Nombre**	**Número de cédula**	**Firma del estudiante**
Carrera a la que pertenece:		**Título obtenido:**		
Fecha de presentación:				
USO EXCLUSIVO PARA EL DIRECTOR DE CARRERA Y LOS ENCARGADOS DE BIBLIOTECAS				
Verificaión de dumentación		**Marque con (X)**		
			Documento físico del trabajo final	
			Carta de autorización para uso y manejo de los trabajos finales de graduación	
			Acuso de recibido de la versión digital por parte de la Vicerrectoría de Investigación	
			Copia digital para la carrera	
			Entrega de resumen con palabras claves para biblioteca	

Nombre del Director (a) de carrera:	Firma del Director de carrera	Fecha de aprobación:
Número de presentación asignado en biblioteca		
Nombre y firma del funcionario de la biblioteca que recibe:		
Sello de biblioteca		