

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Mecánica



TESIS

"Diseño de un Sistema Mecánico para la Recuperación de Agua en una Planta de Producción de Alimentos"

Para obtener el Título Profesional de Ingeniero Mecánico

Elaborado por

Lucio Hernán Cabello Morales

 0009-0004-0025-565X

Asesor

Dr. Fortunato Alva Davila

 0009-0008-8168-661X

LIMA – PERÚ

2025

Citar/How to cite

(Cabello, 2025)

Referencia/Reference

Cabello, L. (2025). *Diseño de un sistema mecánico para la recuperación de agua en una planta de producción de alimentos*. [Tesis, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.

Estilo/Style: APA
(7ma ed.)

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a Dios.

*Por permitirme cumplir con un sueño que hoy se
hace realidad y reafirma mi fe en él, para seguir
adelante, luchando para lograr otros objetivos.*

A mi maestro, mentor y amigo

Dr. Fortunato Alva Dávila

*Quien, con su apoyo permanente, Sabiduría y
Paciencia, permitió cumplir con responsabilidad de
Asesorar y culminar el presente trabajo.*

Dedicatoria

A la memoria de mis padres

María Santosa y Emilio

*Por sus buenos ejemplos, cariño, dedicación y
bondad, sembrando valores de lealtad, ética, moral,
respeto, responsabilidad.*

*A mis hijos, Hernán, Diego y Carlos, como fuente de
inspiración.*

*A mi compañera de vida: Milagros, quien me apoyó
en todo momento para cumplir mi objetivo*

RESUMEN

Este estudio propone el diseño, implementación y evaluación de un sistema mecánico para la recuperación y reutilización de agua durante las labores de limpieza y enfriamiento en una planta procesadora de alimentos ubicada en Lima, Perú. El objetivo es reducir el consumo hídrico, los costos operativos y mejorar la sostenibilidad ambiental en un contexto de escasez de recursos hídricos. La investigación emplea un diseño experimental pretest-posttest con enfoque cuantitativo, midiendo indicadores como el consumo de agua ($\text{m}^3/\text{día}$), los costos operativos (USD/mes) y la eficiencia operativa (% de agua recuperada). El sistema, que integra bombas, filtros y sensores, busca recuperar al menos el 70% del agua residual, reducir el consumo de agua fresca en un 25% y disminuir los costos operativos en un 15%. La metodología incluye tres fases: diseño (2 meses), implementación (1 mes) y evaluación (1 mes), utilizando sensores de caudal, medidores de energía y software de análisis. Se espera que el sistema no solo optimice los recursos hídricos y económicos, sino que también cumpla con normativas peruanas, como la Ley de Recursos Hídricos N° 29338, y sirva como modelo replicable para otras plantas de la industria alimentaria. Este trabajo contribuye a la gestión responsable del agua, promoviendo prácticas sostenibles y competitividad en el sector.

Palabras clave: recuperación de agua, sistema mecánico, sostenibilidad, industria alimentaria, eficiencia operativa.

ABSTRACT

This study proposes the design, implementation, and evaluation of a mechanical system for water during the cleaning and cooling processes at a food processing plant located in Lima, Peru. The objective is to reduce water consumption and operating costs, and improve environmental sustainability in a context of water resource scarcity. The research employs a pretest-posttest experimental design with a quantitative approach, measuring indicators such as water consumption (m^3/day), operating costs (USD/month), and operational efficiency (% of water recovered). The system, which integrates pumps, filters, and sensors, seeks to recover at least 70% of wastewater, reduce freshwater consumption by 25%, and decrease operating costs by 15%. The methodology includes three phases: design (2 months), implementation (1 month), and evaluation (1 month), using flow sensors, energy meters, and analysis software. The system is expected to not only optimize water and economic resources, but also comply with Peruvian regulations, such as Water Resources Law No. 29338, and serve as a replicable model for other plants in the food industry. This work contributes to responsible water management, promoting sustainable practices and competitiveness in the sector.

Keywords: water recovery, mechanical system, sustainability, food industry, operational efficiency.

ÍNDICE

RESUMEN.....	v
ABSTRACT	vi
INTRODUCCIÓN.....	xii
CAPÍTULO I: GENERALIDADES.....	1
1.1 Antecedentes Investigativos	1
1.2 Descripción de la realidad Problemática.....	4
1.2.1 Retos en la optimización y reutilización del agua en la industria alimentaria	4
1.2.2 Limitaciones económicas, técnicas e infraestructurales para la implementación.....	5
1.2.3 Necesidades para sistemas eficientes y sostenibles de recuperación de agua	6
1.3 Formulación del problema	7
1.3.1 Problema general.....	8
1.3.2 Problemas específicos	9
1.4 Justificación e importancia de la investigación	9
1.4.1 Importancia de la Recuperación y Tratamiento de Agua	9
1.4.2 Beneficios de Implementar Sistemas Mecánicos de Recuperación de Agua ...	10
1.4.3 Contribución al Desarrollo Sostenible y Competitividad Industrial	11
CAPÍTULO II; OBJETIVOS, HIPÓTESIS, VARIABLES E INDICADORES.....	12
2.1 Objetivos	12
2.1.1 Objetivo General	12
2.1.2 Objetivos Específicos	12
2.2 Hipótesis	13
2.2.1 Hipótesis General.....	13
2.2.2 Hipótesis Específicas	13
2.3 Variables, Dimensiones e Indicadores.....	14
2.3.1 Variables	14

2.3.2 Dimensiones	14
2.3.3 Indicador	15
2.3.4 Operacionalización de variables	16
CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO, MARCO CONCEPTUAL Y DESARROLLO	17
3.1 Bases teóricas	17
3.1.1 Importancia del Agua en la Industria Alimentaria	17
3.1.2 Calidad y Tratamiento del Agua	18
3.1.3 Tecnologías para la Recuperación y Reutilización de Agua	19
3.1.4 Producción Más Limpia y Economía Circular	20
3.1.5 Normativas y Enfoques Técnicos para el Reúso del Agua	20
3.1.6 Impactos Ambientales y Beneficios Económicos	21
3.1.7 Recuperación de agua	22
3.1.8 Gestión de Recursos Hídricos en la Industria Alimentaria	23
3.1.9 Sostenibilidad en la Industria Alimentaria	23
3.1.10 Tecnologías de Recuperación de Agua	24
3.1.11 Eficiencia Operativa en Sistemas de Recuperación de Agua	25
3.1.12 Sostenibilidad y Gestión Integral del Agua en la Industria	25
3.1.13 Gestión Integral del Agua en Plantas de Producción de Alimentos	26
3.1.14 Innovación Tecnológica y Automatización en el Control del Agua	27
3.1.15 Desafíos y Oportunidades en la Gestión Hídrica de la Industria Alimentaria ..	28
3.2 Marco conceptual	29
3.2.1 Recuperación de agua	29
3.2.2 Sistema Mecánico	30
3.2.3 Eficiencia Operativa	30
3.2.4 Sostenibilidad	31
3.2.5 Costos Operativos	31
3.2.6 Impacto Ambiental	32

3.2.7	Gestión Integrada de los Recursos Hídricos.....	32
3.2.8	Derecho Humano al Agua y al Saneamiento.....	33
3.2.9	Huella Hídrica en la Cadena Alimentaria	34
3.2.10	Economía Circular y Reutilización del Agua en la Industria Alimentaria	35
3.2.11	Análisis y Control de la Calidad del Agua en la Industria Alimentaria	35
3.3	Memoria Técnica del Sistema	36
3.4	Cálculos Técnicos del Sistema.....	38
3.5	Planos del Sistema Mecánico.....	46
3.6	Protocolos de Pruebas Hidrostáticas.....	47
3.7	Cronograma de Actividades	48
3.8	Instrumentos de Recolección de Datos	49
3.9	Especificaciones de Materiales.....	49
CAPÍTULO IV: DISEÑO METODOLÓGICO.....		51
4.1	Unidad de Análisis.....	51
4.2	Tipo, enfoque, nivel y diseño de Investigación	52
4.2.1	Tipo de Investigación	52
4.2.2	Enfoque de la Investigación	53
4.2.3	Nivel de Investigación	53
4.2.4	Diseño de la Investigación.....	54
4.3	Periodo de Análisis.....	54
4.4	Fuentes de Información e Instrumentos Utilizados	56
4.4.1	Fuentes de Información.....	56
4.4.2	Instrumentos de Recolección de Datos	57
CONCLUSIONES.....		60
RECOMENDACIONES.....		61
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		62
ANEXOS		63

Índice de figuras

Figura 1	Instalación de bomba vertical	38
Figura 2	Cálculo de número de Reynolds para determinar tipo de flujo	41
Figura 3	Estructura metálica para torre de enfriamiento.....	45
Figura 4	Esquema de descarga por gravedad para torre de enfriamiento.....	45
Figura 5	Vista isométrica de sistema de bombeo	47
Figura 6	Esquema de sistema de bombeo para determinación de caudales en líneas de tuberías	48
Figura 7	Diagrama de Gantt – Sistema de Recuperacion de Agua	49
Figura 8	Vista de planta de sistema de tuberías para sistema de enfriamiento	50

Índice de tablas

Tabla 1	Cuadro de memoria técnica	37
Tabla 2	Cálculo de altura para la bomba	43
Tabla 3	Cálculo de altura y potencia.....	44
Tabla 4	Calculo para la potencia de motor de la bomba.....	44
Tabla 4	Cálculo de altura de la torre para el caudal hacia el tanque.....	46

INTRODUCCIÓN

El agua es un factor fundamental en la industria alimentaria, donde su aplicación extensa a los procesos de limpieza, refrigeración y cambio de materia prima es esencial para asegurar la calidad y la seguridad de productos. En Perú, la escasez hídrica es un reto importante, especialmente en zonas urbanas como Lima, donde la demanda del agua es mayor a la accesibilidad a causa de la superexplotación de acuíferos, así como impactos del cambio del clima. Según la Autoridad Nacional del Agua (2020), el estrés hídrico en Lima ha alcanzado niveles alarmantes, con un déficit proyectado del 20% en la disponibilidad de agua para el 2030 si no se implementan medidas de gestión eficiente. La industria alimentaria, un pilar económico que contribuye significativamente al PIB peruano, consume grandes volúmenes de agua, generando aguas residuales que a menudo se descartan sin tratamiento ni reutilización. En una planta de producción de alimentos típica, los procesos de limpieza y refrigeración pueden consumir cientos de metros cúbicos de agua diarios, con hasta el 70% de este volumen convertido en efluentes (Ainia, 2024). Este desperdicio no solo incrementa los costos operativos, sino que también ejerce presión sobre los recursos hídricos y el medio ambiente, contraviniendo normativas como la Ley de Recursos Hídricos N° 29338, que promueve el uso sostenible del agua en actividades industriales.

El elevado consumo de agua en la industria alimentaria se ve aún más comprometido por la ausencia de sistemas eficientes que permitan recuperar y reutilizar las aguas residuales generadas en los procesos. En muchos casos, el agua utilizada en limpieza y refrigeración contiene sólidos suspendidos, materia orgánica o almidón, como en la producción de snacks, lo que complica su tratamiento, pero también ofrece oportunidades para la recuperación de subproductos valiosos (Serrano, 2017). Sin embargo, las plantas peruanas enfrentan barreras significativas, incluyendo la ausencia de tecnologías adaptadas a la variabilidad en la calidad del agua residual, los altos costos de

inversión en infraestructura, y la falta de capacitación para operar sistemas avanzados. Estas limitaciones resultan en costos operativos elevados, con facturas de agua y energía que representan una carga financiera considerable, además de posibles sanciones por incumplimiento de regulaciones ambientales. Como señala Ainia (2024), la reutilización del agua en la industria alimentaria no solo reduce la dependencia de fuentes de agua fresca, sino que también disminuye el impacto ambiental y mejora la competitividad económica. La necesidad de soluciones innovadoras es urgente para alinear la industria con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente el ODS 6, que busca garantizar la disponibilidad y gestión sostenible del agua.

Este estudio propone el diseño, implementación y evaluación de un sistema mecánico para la recuperación y reutilización de agua en los procesos de limpieza y refrigeración de una planta de producción de alimentos en Lima, Perú. El sistema integrará bombas, filtros y sensores para capturar, tratar y reutilizar al menos el 70% del agua residual generada, reduciendo el consumo de agua fresca en un 25% y los costos operativos en un 15%, mientras mantiene una eficiencia operativa superior al 70%. El objetivo general es optimizar el uso de recursos hídricos, disminuir los costos y mejorar la sostenibilidad ambiental, contribuyendo a la competitividad del sector alimentario peruano. Los objetivos específicos incluyen: (a) identificar y cuantificar los puntos críticos de consumo de agua en los procesos de limpieza y refrigeración, (b) diseñar un sistema mecánico adaptado a las necesidades de la planta, (c) implementar y evaluar el sistema mediante pruebas experimentales que midan el consumo de agua ($\text{m}^3/\text{día}$), los costos operativos (USD/mes) y la eficiencia operativa (% de agua recuperada), y (d) analizar la viabilidad económica y ambiental del sistema, determinando su retorno de inversión y potencial de replicación en otras plantas.

El estudio se desarrollará en cuatro meses, dividido en tres fases: diseño (dos meses), implementación (un mes) y evaluación (un mes). La metodología empleará un

diseño experimental pretest-posttest con enfoque cuantitativo, utilizando sensores de caudal, medidores de energía y software de análisis para medir los indicadores clave antes y después de la implementación del sistema. Durante la fase de diseño, se realizará un análisis detallado de los procesos de la planta para identificar los flujos de agua residual y seleccionar tecnologías de filtración, como membranas de ultrafiltración o sistemas de sedimentación, según las características del efluente. La implementación incluirá la instalación de bombas centrífugas, filtros de malla y sensores de flujo, configurados para operar en condiciones reales de producción. La evaluación comparará el desempeño de la planta con y sin el sistema, analizando la reducción en el consumo de agua, los ahorros en costos y la estabilidad del proceso, con el objetivo de validar las hipótesis propuestas. Se espera que el sistema no solo genere ahorros económicos, estimados en un 15% de los costos operativos, sino que también reduzca la huella hídrica y cumpla con normativas ambientales, como las establecidas por el Ministerio del Ambiente de Perú.

La justificación del proyecto radica en sus beneficios multidimensionales. Económicamente, la recuperación de agua disminuirá los gastos en agua y energía, además de permitir la valorización de subproductos, como el almidón recuperado, que puede venderse a industrias textiles o farmacéuticas (Serrano, 2017). Ambientalmente, el sistema contribuirá a la economía circular al reducir el vertido de efluentes y la extracción de agua fresca, alineándose con los principios de producción más limpia. Socialmente, garantizará agua de calidad para los procesos productivos, fortaleciendo la seguridad alimentaria y la responsabilidad corporativa. La replicabilidad del sistema en otras plantas de la industria alimentaria peruana amplificará su impacto, ofreciendo un modelo escalable para abordar la escasez hídrica. Este trabajo no solo responde a una necesidad técnica, sino que también posiciona a la industria alimentaria como líder en sostenibilidad, promoviendo prácticas responsables que benefician a la sociedad y el medio ambiente.

CAPÍTULO I.

GENERALIDADES

1.1 Antecedentes Investigativos

García et al. (2022). "Optimización del uso de agua en procesos de limpieza industrial." (Artículo Científico)

Examina el problema del alto consumo de agua en procesos de limpieza industrial, justificando su impacto ambiental y económico en la industria alimentaria. El objetivo fue diseñar e implementar un sistema de reutilización de agua, con una hipótesis de reducción de costos operativos en un 15% y una eficiencia de recuperación superior al 70%. Se empleó un diseño longitudinal con sensores de flujo, medidores de presión y software de análisis de datos, adoptando un enfoque cuantitativo a nivel aplicado. Las técnicas incluyeron pruebas piloto en plantas reales y análisis comparativo antes y después de la implementación. Resultados: se alcanzó una eficiencia del 72% en recuperación de agua y un ahorro del 18% en costos, con mejoras en la calidad del efluente. La discusión destacó beneficios económicos y sostenibles, así como desafíos en la integración con procesos existentes. Conclusión: el sistema es efectivo y escalable, recomendando su adopción en plantas medianas y grandes con capacitación técnica especializada.

López, M. (2021). "Diseño de sistemas de tratamiento de agua residual en la industria alimentaria."

Este trabajo identifica el problema de la gestión inadecuada de aguas residuales en plantas de alimentos, justificando la necesidad de tecnologías sostenibles para cumplir con regulaciones ambientales y reducir costos operativos. El objetivo fue desarrollar un sistema que redujera el consumo de agua en un 25%, con una hipótesis de mejora en la eficiencia

operativa del 30%. La metodología incluyó un diseño cuasi-experimental, aplicando técnicas de filtración avanzada, sedimentación y análisis de caudal con sensores de alta precisión. El nivel de investigación fue aplicado, con un enfoque mixto para integrar datos cualitativos y cuantitativos. Resultados: se logró un ahorro del 20% en agua y un 15% en energía, con una disminución notable en efluentes contaminantes. El debate cubrió los costos de la inversión inicial y mantenimiento periódico. Conclusion: el sistema es factible con financiamiento, recomendar el monitoreo constante y ajustes según datos en tiempo real a fin de optimizar su perforancia a largo término.

Martínez, R. (2025). "Gestión integral del agua en plantas de snacks."

Analiza la gestión hídrica ineficiente en plantas de snacks, justificando su impacto económico y ambiental en el sector. El objetivo fue optimizar el uso de recursos, con una hipótesis de reducción del 20% en consumo y una eficiencia operativa del 75%. El diseño fue cuasi-experimental, utilizando software SCADA y sensores de flujo, con un enfoque mixto. Resultados: se alcanzó una eficiencia del 77% y un ahorro del 22% en agua. La discusión destacó la sostenibilidad y los beneficios a largo plazo, identificando retos en la capacitación del personal. Conclusión: el sistema es replicable, recomendando inversión en infraestructura y programas de educación continua para operarios.

Pérez, L. (2024). "Sistemas mecánicos para la reutilización de agua en refrigeración." (Artículo Científico)

Aborda el consumo excesivo de agua en procesos de refrigeración, justificando la importancia de la sostenibilidad en la industria alimentaria. El objetivo fue reducir el uso de agua en un 15%, con una hipótesis de viabilidad técnica y económica. La metodología incluyó un diseño experimental con medidores de energía y análisis térmico, adoptando un enfoque cuantitativo a nivel aplicado. Resultados: se logró un ahorro del 18% en agua y una mejora del 10% en eficiencia energética. La discusión se centró en los costos operativos y la necesidad de mantenimiento preventivo. Conclusión: el sistema es efectivo,

recomendando ajustes técnicos y evaluaciones periódicas para garantizar su longevidad.

Romero, P. (2023). "Mejora de plantas de tratamiento de agua potable en zonas urbanas."

Analiza el problema de la calidad deficiente del agua en plantas potabilizadoras, justificando su relevancia en zonas urbanas con alta demanda hídrica. El objetivo fue optimizar el tratamiento para garantizar potabilidad, con una hipótesis de reducción de contaminantes en un 35%. La metodología incluyó un diseño experimental con monitoreo continuo de parámetros como turbidez y pH, utilizando equipos de filtración y desinfección. El tipo de investigación fue aplicada, con un enfoque cuantitativo. Resultados: se logró una reducción del 30% en contaminantes y una mejora en la estabilidad del suministro. La discusión abordó desafíos operativos como la capacitación del personal y la gestión de residuos generados. Conclusión: el sistema es viable, recomendando programas de formación continua y auditorías periódicas para mantener estándares de calidad.

Serrano, J. (2020). "Recuperación de almidón del agua de lavado en plantas procesadoras de papa."

Este estudio aborda el problema del desperdicio de agua y almidón en plantas procesadoras de papa, justificando su relevancia por el impacto ambiental y la pérdida de recursos valiosos. El objetivo principal fue diseñar un sistema mecánico eficiente para recuperar almidón, con una hipótesis que plantea una eficiencia superior al 70% en la recuperación y una reducción significativa de la carga contaminante. La metodología empleó un diseño experimental pretest-posttest con enfoque cuantitativo, utilizando equipos centrífugos, hidrociclones y análisis de calidad del agua residual. Las técnicas de recolección de datos incluyeron medidores de caudal y pruebas químicas para evaluar la concentración de sólidos suspendidos. Los resultados mostraron una reducción del 60% en la carga contaminante y una recuperación de almidón con pureza del 85%, destacando un ahorro económico inicial. La discusión se centró en la viabilidad técnica y económica,

identificando desafíos como el mantenimiento de equipos y la variabilidad en la calidad del agua. Conclusión: el sistema es sostenible y adaptable a diferentes escalas de producción. Recomendaciones: escalar la tecnología, implementar programas de capacitación para operarios y considerar normativas ambientales locales para su implementación generalizada.

Torres, A. (2024). "Tecnologías de recuperación de agua en la industria agroalimentaria." (Artículo Científico)

Estudia la escasez hídrica como problema crítico en la agroindustria, justificando la necesidad de sistemas de reciclaje para garantizar sostenibilidad. El objetivo fue implementar hidrociclones para recuperar agua, con una hipótesis de eficiencia superior al 65% y reducción de efluentes en un 50%. El diseño fue pretest-posttest con un enfoque cuantitativo, empleando análisis de efluentes y sensores de caudal. Resultados: se obtuvo una recuperación del 68% y una disminución del 45% en la carga contaminante. La discusión resaltó el impacto ambiental positivo y los costos asociados a la instalación. Conclusión: el sistema es escalable, recomendando el desarrollo de normativas específicas y alianzas con instituciones para financiar su expansión.

1.2 Descripción de la realidad Problemática

1.2.1 Retos en la optimización y reutilización del agua en la industria alimentaria

Uno de los mayores desafíos en la recuperación de agua en plantas de producción de alimentos, especialmente en procesos que incluyen el lavado de materias primas como la papa, es gestionar de manera eficiente el agua que se desecha y que presenta un alto contenido de almidón y sólidos en suspensión. Este almidón, aunque es un contaminante en el proceso de fritura y producción, representa un recurso valioso que puede ser recuperado y reutilizado en otras industrias, como la farmacéutica, textil o alimentaria. Sin embargo, la separación efectiva del almidón

del agua residual requiere equipos especializados como hidrociclones, centrifugadoras y sistemas de secado que deben ser diseñados para operar bajo las condiciones específicas de caudal y concentración del proceso productivo. Además, el manejo seguro del almidón recuperado es un desafío, debido a su naturaleza como polvo fino orgánico que puede generar nubes explosivas si no se controla adecuadamente.

Otro reto importante es la integración de estos sistemas mecánicos de recuperación en líneas de producción existentes sin afectar la continuidad ni la calidad del producto final. Esto implica realizar un análisis detallado de las condiciones operativas actuales, así como un diseño que permita la incorporación eficiente y rentable del equipo de recuperación. Además, se debe considerar la variabilidad en la cantidad y calidad del agua residual, que puede fluctuar según las condiciones de producción y la materia prima utilizada, lo que complica la estandarización del proceso.

1.2.2 Limitaciones económicas, técnicas e infraestructurales para la implementación

Entre las principales limitaciones se cuenta la inversión inicial necesaria para la compra e instalación de equipos específicos para la recuperación del almidón y el tratamiento de aguas residuales. Si el beneficio económico es judicial a largo plazo, el gasto inicial puede ser una limitante para la mayoría de las empresas, especialmente pequeñas y medianas. Asimismo, la operación y mantenimiento de estos sistemas requieren personal capacitado y un monitoreo constante para asegurar la eficiencia y evitar problemas operativos.

Otra limitación es la infraestructura existente en muchas plantas de producción, que puede no estar diseñada para integrar sistemas adicionales de recuperación o tratamiento, lo que implica modificaciones estructurales y operativas

que pueden generar tiempos muertos o costos adicionales. Además, la calidad del almidón recuperado depende en gran medida de la eficiencia del proceso de purificación, y la presencia de impurezas o contaminantes puede limitar su uso comercial o industrial.

Desde el punto de vista ambiental, aunque la recuperación de almidón reduce la carga contaminante, las aguas residuales tratadas aún pueden contener materia orgánica y nutrientes que requieren un tratamiento complementario para cumplir con las normativas ambientales vigentes. Esto implica que la recuperación mecánica debe formar parte de un sistema integral de gestión de aguas residuales.

1.2.3 Necesidades para sistemas eficientes y sostenibles de recuperación de agua

Para superar los retos y limitaciones mencionados, es necesario desarrollar un sistema mecánico de recuperación de agua y almidón que sea eficiente, adaptable y económicamente viable. Este sistema debe incluir etapas de purificación, separación, secado y almacenamiento que garanticen la calidad del producto recuperado y la reducción significativa de la contaminación en el agua residual.

Se requiere también un diseño que considere las condiciones específicas de la planta, incluyendo el volumen y concentración del agua residual, las características del proceso productivo y las normativas ambientales aplicables. La capacitación del personal operativo y la implementación de protocolos de mantenimiento y monitoreo son imprescindibles para asegurar la continuidad y eficiencia del sistema.

Finalmente, es fundamental contar con un análisis económico detallado que permita evaluar la rentabilidad y el retorno de la inversión, considerando tanto los beneficios directos por la venta o reutilización del almidón recuperado como los ahorros en costos de tratamiento y cumplimiento ambiental. La integración de estas soluciones contribuirá a una producción más sostenible y responsable en la industria alimentaria.

1.3 Formulación del problema

La industria alimentaria en Perú, un sector clave que contribuye significativamente al crecimiento económico, enfrenta desafíos críticos en la gestión de recursos hídricos debido al alto consumo de agua en procesos como limpieza y refrigeración. En una planta de producción de alimentos en Lima, el consumo diario de agua puede superar los cientos de metros cúbicos, con hasta el 70% de este volumen convirtiéndose en aguas residuales que se descartan sin tratamiento ni reutilización (Ainia, 2024). Esta práctica genera costos operativos elevados, ya que las empresas deben pagar por agua fresca y gestionar efluentes, además de enfrentar riesgos de sanciones por incumplir normativas ambientales como la Ley de Recursos Hídricos N° 29338, que exige un uso eficiente del agua (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2020).

La falta de sistemas mecánicos para recuperar y reutilizar el agua residual agrava esta problemática, especialmente en un contexto de escasez hídrica en Lima, donde “el déficit de agua proyectado para 2030 podría limitar severamente las actividades industriales si no se adoptan medidas urgentes” (ANA, 2020). Las causas de esta situación incluyen la ausencia de tecnologías adaptadas a la variabilidad en la calidad del agua residual, que a menudo contiene sólidos suspendidos, materia orgánica o almidón, como en la producción de snacks (Serrano, 2017). Además, las barreras económicas, como los altos costos de inversión en infraestructura, y las limitaciones técnicas, como la falta de

capacitación para operar sistemas avanzados, dificultan la implementación de soluciones sostenibles.

Estas carencias no solo incrementan los gastos operativos, estimados en miles de dólares mensuales por agua y energía, sino que también aumentan la huella hídrica de la industria, contribuyendo al estrés hídrico y al impacto ambiental. Desde el punto de vista social, la ineficiencia en el uso del agua puede comprometer la seguridad alimentaria, ya que la calidad del agua en los procesos productivos es crucial para garantizar productos inocuos. Como señala Ainia (2024), la gestión ineficiente del agua en la industria alimentaria no solo eleva los costos, sino que también pone en riesgo la sostenibilidad y la competitividad del sector. La necesidad de abordar esta problemática es evidente, ya que la industria alimentaria peruana debe alinearse con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente el ODS 6, que promueve la gestión sostenible del agua, y responder a las crecientes demandas de consumidores y reguladores por prácticas responsables.

1.3.1 Problema general

El ausentismo de un sistema mecánico estadía para el reciclado y reconexión del agua en el proceso de lavados y refrigerantes de una fábrica de productos alimenticios en Lima, Perú, provoca un alto consumo de agua, con hasta el 70% del volumen demandado convirtiéndose en aguas residuales brutas y aumentan el costo operativo y el efecto ambiental en un escenario de escasez del sector hídrico y leyes ambientales exigentes, como la Ley de la Ley de los recursos hídricos N° 29338.

1.3.2 Problemas específicos

- La ausencia de un sistema mecánico optimizado para recuperar agua y subproductos, como el almidón en el proceso de lavado, provoca un desperdicio significativo de recursos hídricos, aumentando los costos de agua fresca y la gestión de efluentes, y dificulta el cumplimiento de normativas ambientales.
- La implementación de un sistema de recuperación de agua enfrenta barreras técnicas, como la integración con la infraestructura existente de la planta (p. ej., tuberías y equipos actuales), y económicas, debido a la inversión requerida para tecnologías especializadas como hidrociclones y ultrafiltración.
- La falta de evaluación de la viabilidad técnica y económica del sistema limita su replicabilidad en otras plantas de la industria alimentaria peruana, restringiendo su contribución a la sostenibilidad del sector.

1.4 Justificación e importancia de la investigación

1.4.1 Importancia de la Recuperación y Tratamiento de Agua

La recuperación y el tratamiento del agua en las plantas de producción de alimentos constituye un aspecto esencial para lograr la sostenibilidad y eficacia en el uso de este recurso indispensable. El agua es un insumo fundamental en muchos procesos dentro de la industria alimentaria, como el lavado de materias primas, la limpieza de equipos e instalaciones y, en ocasiones, como ingrediente directo en la elaboración de alimentos. La calidad del agua influye directamente en la seguridad inocuidad y calidad final de los productos, por lo que es crucial que el agua tratada y recuperada cumpla con los estándares sanitarios exigidos.

En un contexto global donde la escasez de agua se intensifica, la industria alimentaria enfrenta la necesidad urgente de optimizar el uso del recurso hídrico para reducir su huella ambiental. La implementación de sistemas de recuperación y reutilización de agua permite disminuir el consumo de agua fresca, contribuyendo a la conservación de fuentes naturales y a la reducción de costos operativos. Además, la recuperación del agua residual evita la contaminación de cuerpos de agua y suelos minimizando el impacto ambiental asociado a la producción.

Por otro lado, la adopción de tecnologías que permitan la recuperación eficiente del agua posiciona a las empresas alimentarias como agentes responsables y comprometidos con la sostenibilidad, lo cual es cada vez más valorado por consumidores, reguladores y mercados internacionales.

1.4.2 Beneficios de Implementar Sistemas Mecánicos de Recuperación de Agua

La implementación de sistemas mecánicos para la recuperación y reutilización de agua en plantas de producción de alimentos aporta múltiples beneficios, tanto económicos como ambientales y sociales. En primer lugar, estos sistemas permiten reducir significativamente el consumo de agua potable, lo que implica un ahorro considerable en los costos asociados al abastecimiento y tratamiento del recurso. Esta reducción es especialmente relevante en industrias que requieren grandes volúmenes de agua para sus procesos, donde cualquier optimización puede traducirse en un impacto económico importante.

Además, la reutilización del agua tratada garantiza un suministro constante y confiable para las distintas etapas de producción, lo que contribuye a la estabilidad operativa y evita interrupciones que puedan afectar la calidad y cantidad del

producto final. La recuperación de agua también contribuye a disminuir la cantidad y concentración de contaminantes en los efluentes vertidos al medio ambiente, facilitando el cumplimiento de normativas ambientales y evitando posibles sanciones o multas. Esto mejora la imagen corporativa y fortalece la responsabilidad social empresarial.

Por último, mantener la calidad del agua recuperada es fundamental para asegurar que los productos alimenticios cumplan con los estándares de inocuidad y calidad exigidos por los mercados, lo que fortalece la confianza del consumidor y la competitividad de la empresa. En conjunto, estos beneficios hacen que la inversión en sistemas mecánicos de recuperación sea una estrategia rentable y sostenible para la industria alimentaria.

1.4.3 Contribución al Desarrollo Sostenible y Competitividad Industrial

El diseño e instalar sistemas mecánicos para la reutilización del agua en plantas de proyección de alimentos aporta de manera importante al sostenimiento del sector agroindustrial. Al aprovechar al máximo el agua y poner menor generación de residuos de aguas, estas herramientas mitigan el efecto ambiental de la industria fomentando la salvaguardia de los recursos naturales y la defensa de los sistemas ecuatoriales. Esta estrategia sostenible responde a las demandas crecientes sociales y reguladoras que obligan a las corporaciones a tomar prácticas responsables y respetuosas con el entorno.

Desde el punto de vista económico, la recuperación y reutilización eficiente del agua mejora la rentabilidad operativa al disminuir los costos asociados al consumo de agua potable y al tratamiento de aguas residuales. Esto permite que las empresas puedan destinar recursos a otras áreas estratégicas, favoreciendo la innovación y el crecimiento. Además, la implementación de estas tecnologías fortalece la imagen corporativa y la responsabilidad social empresarial, factores cada vez más valorados por consumidores, inversionistas y mercados internacionales.

CAPÍTULO II.

OBJETIVOS, HIPÓTESIS, VARIABLES E INDICADORES

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema mecánico para la recuperación y reutilización de agua en los procesos de limpieza y refrigeración de una planta de producción de alimentos en Lima, Perú, que reduzca el consumo de agua en un 25%, los costos operativos en un 15%, mantenga una eficiencia operativa superior al 70% y cumpla con la Ley de Recursos Hídricos N° 29338, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental y la competitividad de la planta.

2.1.2 Objetivos Específicos

- Diseñar un sistema mecánico optimizado con componentes como hidrociclones, filtros y bombas centrífugas para recuperar agua en los procesos de limpieza y refrigeración, reduciendo el desperdicio de recursos hídricos asegurando el cumplimiento de la Ley de Recursos Hídricos N° 29338.
- Implementar el sistema mecánico integrándolo con la infraestructura existente de la planta para superar barreras técnicas y económicas, logrando una eficiencia operativa superior al 70% sin interrumpir la producción.
- Evaluar la viabilidad técnica y económica del sistema mediante métricas de desempeño para validar su replicabilidad en otras plantas de la industria alimentaria peruana, contribuyendo a la sostenibilidad del sector.

2.2 Hipótesis

2.2.1 Hipótesis General

El diseño e implementación de un sistema mecánico para la recuperación y reutilización de agua en los procesos de limpieza y refrigeración de una planta de producción de alimentos en Lima, Perú, reducirá el consumo de agua en un 25%, los costos operativos en un 15%, mantendrá una eficiencia operativa superior al 70%, y cumplirá con la Ley de Recursos Hídricos N° 29338, disminuyendo el impacto ambiental y mejorando la sostenibilidad y competitividad de la planta.

2.2.2 Hipótesis Específicas

- El sistema mecánico diseñado, con componentes como hidrociclones, filtros y bombas centrífugas, recuperará al menos el 70% del agua en los procesos de limpieza y refrigeración, reduciendo el desperdicio de recursos hídricos y asegurando el cumplimiento de la Ley de Recursos Hídricos N° 29338.
- La implementación del sistema mecánico, integrado con la infraestructura existente de la planta, superará las barreras técnicas y económicas, logrando una eficiencia operativa superior al 70% sin interrupciones en la producción.
- La evaluación de la viabilidad técnica y económica del sistema, mediante métricas como la tasa de recuperación de agua y la reducción de costos de agua y energía, demostrará su replicabilidad en otras plantas de la industria alimentaria peruana, contribuyendo a la sostenibilidad del sector.

2.3 Variables, Dimensiones e Indicadores

2.3.1 Variables

Las variables clave para este estudio están enfocadas en los elementos que afectan el desempeño del sistema de recuperación de agua en la planta de producción de alimentos. Estas variables son fundamentales para realizar un análisis completo que permita identificar los beneficios obtenidos, detectar posibles limitaciones y proponer mejoras para optimizar la gestión del recurso hídrico en la planta.

Las principales variables para evaluar son:

- Variable Independiente:
 - Implementación del sistema mecánico de recuperación de agua.
- Variables Dependientes:
 - ✓ Consumo de agua
 - ✓ Eficiencia operativa en la recuperación de agua
 - ✓ Costos operativos

Estas variables son influenciadas directamente por la implementación del sistema de recuperación de agua propuesto. Su análisis permitirá evaluar con precisión el impacto real del sistema en la operación de la planta, identificando áreas de mejora y confirmando los beneficios obtenidos. Además, facilitarán la toma de decisiones informadas para futuras optimizaciones y adaptaciones del sistema.

2.3.2 Dimensiones

Las dimensiones que se abordarán en la investigación son las siguientes:

- Dimensión de Consumo de Agua:
 - Abarca la cantidad de agua utilizada en los procesos de producción antes y

después de la implementación del sistema de recuperación, con énfasis en la optimización del uso del recurso y la reducción de desperdicios.

- **Dimensión de Eficiencia Operativa:**
Se enfoca en la mejora del desempeño del sistema productivo, midiendo la cantidad de agua recuperada, el tiempo de funcionamiento sin fallas y la reducción de paradas no programadas.
- **Dimensión de Costos Operativos:**
Evalúa la reducción de costos relacionados con el consumo de agua y energía, considerando tanto la eficiencia del sistema de recuperación como la disminución en la compra de agua de fuentes externas.

2.3.3 Indicador

Los indicadores asociados a cada dimensión permitirán medir el impacto de la implementación del sistema de recuperación de agua. Los principales indicadores son:

- **Indicador de Consumo de Agua:**
- **Reducción porcentual en el consumo de agua antes y después de la implementación del sistema.**
- **Indicador de Eficiencia Operativa:**

Aumento en la cantidad de agua recuperada, evaluación de la estabilidad de los procesos productivos y reducción de las paradas no programadas.

- **Indicador de Costos Operativos:**

Comparación de los costos operativos (agua y energía) antes y después de la implementación del sistema de recuperación de agua.

2.3.4 Operacionalización de variables

La operacionalización de las variables se llevará a cabo mediante los siguientes procedimientos y métodos:

- Para la variable "Consumo de Agua":

Se medirá la cantidad de agua utilizada en la planta antes y después de la implementación del sistema mecánico, utilizando medidores de caudal instalados en puntos clave del proceso.

- Para la variable "Eficiencia Operativa"

Se evaluará el desempeño del sistema mediante la cantidad de agua recuperada, la estabilidad de los procesos de producción, y el tiempo de funcionamiento sin paradas no programadas, utilizando sensores de flujo y registros operativos.

- Para la variable "Costos Operativos":

Se realizará un análisis comparativo de los costos operativos relacionados con el agua y la energía, mediante registros contables y sensores de energía que permitan comparar los costos antes y después de la implementación del sistema.

CAPÍTULO III.

MARCO TEÓRICO, MARCO CONCEPTUAL Y DESARROLLO

.1 Bases teóricas

3.1.1 Importancia del Agua en la Industria Alimentaria

El agua es un recurso vital para la industria alimentaria, ya que está presente en casi todos los procesos productivos, desde la limpieza de materias primas hasta la elaboración y conservación de alimentos. Su disponibilidad y calidad impactan directamente en la inocuidad y calidad final de los productos, además de influir en la eficiencia operativa y los costos de producción. En este sector, el agua se utiliza para lavado, cocción, enfriamiento, limpieza de equipos e instalaciones, y para mantener condiciones higiénicas que eviten contaminaciones microbiológicas y químicas. La gestión adecuada del recurso hídrico es fundamental para garantizar la seguridad alimentaria y cumplir con las normativas sanitarias y ambientales vigentes (FAO, 2022).

La creciente presión sobre los recursos hídricos, derivada del aumento poblacional, el cambio climático y la expansión industrial, ha generado la necesidad de implementar estrategias que optimicen el uso del agua en la industria alimentaria. La recuperación y reutilización de aguas residuales tratadas se presentan como alternativas sostenibles para reducir el consumo de agua potable y minimizar el impacto ambiental. Además, estas prácticas contribuyen a la economía circular y a la producción más limpia, promoviendo un uso responsable y eficiente del recurso hídrico (Ministerio del Ambiente, 2021).

En términos económicos, el agua representa un costo significativo para las empresas del sector, por lo que la optimización de su uso mediante tecnologías de recuperación y monitoreo inteligente puede traducirse en importantes ahorros

operativos. Asimismo, la gestión sostenible del agua mejora la imagen corporativa y la aceptación social de las empresas, al demostrar un compromiso con la responsabilidad ambiental y social. Por tanto, la importancia del agua en la industria alimentaria trasciende el aspecto productivo, constituyendo un eje estratégico para la competitividad y la sostenibilidad del sector (García et al., 2022).

3.1.2 Calidad y Tratamiento del Agua

La calidad del agua utilizada en la industria alimentaria es crucial para garantizar la inocuidad de los productos y la salud de los consumidores. El agua debe cumplir con estrictos parámetros microbiológicos, físicos y químicos que aseguren la ausencia de contaminantes que puedan alterar las propiedades organolépticas o provocar enfermedades. Para ello, se aplican procesos de tratamiento que varían según la fuente y el uso final del agua, incluyendo filtración, desinfección con cloro u ozono, y tratamientos biológicos para eliminar materia orgánica y microorganismos patógenos (Metcalf & Eddy, 2014).

El tratamiento de aguas residuales industriales es igualmente importante, ya que estas contienen altos niveles de materia orgánica, sólidos suspendidos y contaminantes específicos del proceso alimentario, como grasas y almidones. La correcta gestión y tratamiento de estos efluentes permiten reducir la carga contaminante antes de su vertimiento o reúso, evitando daños ambientales y cumpliendo con la legislación vigente. Tecnologías como los biorreactores de lecho móvil (MBBR), sistemas de flotación por aire disuelto (DAF) y membranas de ultrafiltración son comunes para el tratamiento avanzado de aguas residuales en la industria alimentaria (Serrano, 2017).

Además, la implementación de sistemas de monitoreo continuo y automatización facilita el control de la calidad del agua en tiempo real, permitiendo ajustes inmediatos en los procesos para mantener los estándares requeridos. Estas

prácticas no solo garantizan la seguridad alimentaria, sino que también optimizan el uso del recurso hídrico, promoviendo su recuperación y reutilización, lo que contribuye a la sostenibilidad ambiental y económica de la industria (García et al., 2022).

3.1.3 Tecnologías para la Recuperación y Reutilización de Agua

La recuperación y reutilización de agua en la industria alimentaria se basa en la aplicación de tecnologías avanzadas que permiten tratar y reciclar las aguas residuales generadas durante los procesos productivos. Estas tecnologías incluyen sistemas físicos, químicos y biológicos que eliminan sólidos, materia orgánica, microorganismos y contaminantes disueltos, produciendo agua apta para diversos usos dentro de la planta, como limpieza o procesos no potables (Metcalf & Eddy, 2014).

Entre las tecnologías más utilizadas destacan la ultrafiltración y la ósmosis inversa, que permiten la separación de partículas y contaminantes a nivel molecular, garantizando una alta calidad del agua recuperada. Los biorreactores de lecho móvil (MBBR) y los sistemas de flotación por aire disuelto (DAF) son efectivos para el tratamiento biológico y la separación de sólidos y grasas, respectivamente. La centrifugación también se emplea para la recuperación de sólidos valiosos y la reducción de la carga contaminante (Serrano, 2017).

La incorporación de sensores inteligentes y sistemas de automatización ha optimizado el monitoreo y control de estos procesos, permitiendo una gestión eficiente y en tiempo real del consumo y calidad del agua. Estas tecnologías no solo contribuyen a la sostenibilidad ambiental al reducir la extracción de agua potable y la contaminación, sino que también generan ahorros económicos significativos para las empresas, mejorando su competitividad y cumplimiento normativo (García et al., 2022).

3.1.4 Producción Más Limpia y Economía Circular

La producción más limpia y la economía circular son enfoques que buscan maximizar la eficiencia en el uso de recursos y minimizar la generación de residuos en la industria alimentaria. La producción más limpia se centra en optimizar los procesos para reducir el consumo de agua, energía y materias primas, así como la emisión de contaminantes. La economía circular amplía este concepto al promover la reutilización y reciclaje de materiales y subproductos, integrando residuos como insumos para nuevos procesos productivos (Ministerio del Ambiente, 2021).

En la industria alimentaria, esto implica la recuperación y reutilización de aguas residuales tratadas, la valorización de subproductos como nutrientes o energía, y la adopción de tecnologías sostenibles que cierren los ciclos productivos. Países latinoamericanos como Chile, Colombia y Perú han impulsado políticas y normativas que fomentan estos modelos, incentivando la innovación tecnológica y la colaboración entre actores de la cadena de valor para lograr una gestión más sostenible (Botero, 2020).

Estas prácticas no solo reducen el impacto ambiental, sino que también generan beneficios económicos, mejoran la imagen corporativa y fortalecen la resiliencia de las empresas frente a desafíos ambientales y sociales. La integración de la economía circular y la producción más limpia en la industria alimentaria representa una estrategia clave para avanzar hacia un desarrollo sostenible y competitivo (Ministerio del Ambiente, 2021).

3.1.5 Normativas y Enfoques Técnicos para el Reúso del Agua

El reúso del agua en la industria alimentaria está regulado por normativas que establecen parámetros de calidad, seguridad y sostenibilidad para proteger la salud pública y el medio ambiente. En América Latina, países como Brasil, Colombia y Perú cuentan con regulaciones específicas que definen los límites microbiológicos,

químicos y físicos que debe cumplir el agua reutilizada para distintos usos industriales (IBAMA, 2005; SUNASS, 2024).

En Brasil, la Resolución nº 54/2005 del IBAMA establece directrices para el reúso no potable en procesos industriales, incluyendo requisitos técnicos para el tratamiento y monitoreo del agua. Colombia promueve un enfoque basado en el principio de precaución y la confiabilidad del reúso, enfatizando la selección adecuada de tecnologías y la capacitación del personal. Perú alinea su legislación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible y la economía circular, fomentando la gestión eficiente del recurso hídrico en la industria (SUNASS, 2024).

Los enfoques técnicos para el reúso incluyen la integración de sistemas de tratamiento avanzados, el monitoreo continuo de la calidad del agua y la implementación de buenas prácticas operativas. La ausencia de normativas claras puede generar incertidumbre y riesgos para las empresas, por lo que la adopción de estándares internacionales y la actualización normativa son esenciales para garantizar la viabilidad y seguridad del reúso en la industria alimentaria (IBAMA, 2005; SUNASS, 2024).

3.1.6 Impactos Ambientales y Beneficios Económicos

La recuperación y reutilización de agua en la industria alimentaria genera impactos ambientales positivos al reducir la extracción de agua potable, disminuir la contaminación de cuerpos receptores y proteger los ecosistemas acuáticos. En regiones con estrés hídrico, estas prácticas son fundamentales para conservar los recursos naturales y asegurar la disponibilidad de agua para futuras generaciones (FAO, 2022).

Desde el punto de vista económico, la recuperación de agua permite a las empresas reducir costos asociados al consumo de agua potable y al tratamiento de aguas residuales, además de evitar multas por incumplimiento normativo. La

optimización del uso del agua mejora la eficiencia operativa y puede generar subproductos aprovechables, agregando valor a la cadena productiva. Estos beneficios fortalecen la competitividad y la responsabilidad social empresarial de la industria alimentaria (Serrano, 2017).

En conjunto, la implementación de sistemas de recuperación y reúso contribuye a la sostenibilidad integral del sector, alineándose con las tendencias globales hacia una producción más responsable y eficiente. La inversión en tecnologías y buenas prácticas en la gestión del agua representa una oportunidad estratégica para las empresas que buscan adaptarse a los desafíos ambientales y sociales actuales (FAO, 2022).

3.1.7 Recuperación de agua

La recuperación de agua consiste en recolectar, tratar y reutilizar el agua que se genera durante los procesos industriales, evitando su desperdicio y fomentando prácticas sostenibles (Hernández Candelario & Bourne Morán, 2024). Este proceso es especialmente importante en la industria alimentaria, donde el uso intensivo de agua en actividades como la refrigeración y la limpieza ofrece grandes oportunidades para disminuir costos operativos y reducir el impacto ambiental (Díaz Porras & Ocampo Barbosa, 2021).

Al implementar sistemas eficientes de recuperación, las plantas no solo optimizan el consumo de agua, sino que también mejoran significativamente su imagen ambiental y cumplen con las exigencias normativas actuales, lo que fortalece su competitividad. Además, esta práctica contribuye a asegurar un uso más responsable y consciente de los recursos, vital para la sostenibilidad y la continuidad operativa a largo plazo de la industria alimentaria, especialmente en un contexto de creciente escasez hídrica y regulación ambiental más estricta.

3.1.8 Gestión de Recursos Hídricos en la Industria Alimentaria

Las plantas de producción de alimentos enfrentan una creciente presión debido a la alta demanda de agua necesaria para procesos críticos como la refrigeración y la limpieza, lo que se traduce en costos operativos elevados y efectos negativos en el medio ambiente. Según Díaz Porras y Ocampo Barbosa (2021), una estrategia efectiva para optimizar el uso del agua en estas plantas es la reutilización de aguas residuales tratadas en procesos que no requieren agua potable, lo que ayuda a disminuir costos y a mejorar la eficiencia global de las operaciones.

Una gestión responsable y eficiente de los recursos hídricos no solo implica reducir el consumo directo de agua, sino también minimizar la carga contaminante que se genera en los procesos industriales. Por ello, la adopción de tecnologías avanzadas de recuperación y reciclaje de agua resulta fundamental para mitigar el desperdicio y promover una producción más sostenible. Estas tecnologías permiten no solo conservar el recurso, sino también garantizar que el agua reutilizada cumpla con los estándares de calidad necesarios para su aplicación segura en la planta.

Además, la incorporación de sistemas de recuperación contribuye a fortalecer la imagen ambiental de la empresa, respondiendo a las demandas crecientes de consumidores y reguladores por prácticas sostenibles. La reducción del consumo hídrico también se traduce en beneficios económicos a mediano y largo plazo, al disminuir gastos asociados a la compra y tratamiento de agua. En consecuencia, la implementación de estas tecnologías representa una oportunidad estratégica para que las plantas de producción de alimentos mejoren su competitividad y reduzcan su impacto ambiental.

3.1.9 Sostenibilidad en la Industria Alimentaria

La sostenibilidad en la industria alimentaria implica que las plantas puedan funcionar de manera eficiente, haciendo un uso responsable y limitado de recursos

esenciales como el agua, sin sacrificar la salud del medio ambiente ni la viabilidad económica a largo plazo. Según Botero (2020), esta industria representa el 43.10% del consumo total de agua en las actividades industriales de Colombia, lo que resalta la urgente necesidad de implementar prácticas más conscientes y responsables en la gestión del recurso hídrico. En este sentido, la adopción de tecnologías de recuperación y reutilización de agua no solo reduce significativamente los costos operativos, sino que también permite a las plantas cumplir con estrictos estándares y regulaciones ambientales, garantizando un equilibrio entre productividad y cuidado ambiental que es cada vez más valorado por consumidores y organismos reguladores.

3.1.10 Tecnologías de Recuperación de Agua

Existen varias tecnologías que facilitan la recuperación de agua en los procesos industriales, entre las que destacan la ósmosis inversa y la desalinización. Estas técnicas se han implementado en diversas industrias con el objetivo de mejorar la eficiencia operativa y disminuir el consumo total de agua. Según Hernández Candelario y Bourne Morán (2024), la aplicación de la ósmosis inversa en sistemas de recuperación de agua, especialmente en plantas potabilizadoras, ha probado ser una solución eficaz para reducir significativamente el desperdicio de agua y los costos relacionados con su consumo.

Estos sistemas no solo capturan y tratan el agua que se usa en los procesos industriales, sino que también promueven una gestión más sostenible al disminuir la necesidad de recurrir a fuentes externas. Esto contribuye a asegurar una mayor autonomía hídrica para las plantas y a minimizar el impacto ambiental asociado con el uso intensivo de agua. Además, la incorporación de estas tecnologías representa un avance hacia operaciones más responsables y adaptadas a los desafíos ambientales actuales, fomentando la innovación y el desarrollo sostenible en el sector industrial.

3.1.11 Eficiencia Operativa en Sistemas de Recuperación de Agua

La eficiencia operativa en sistemas de recuperación de agua se refiere a la capacidad del sistema para maximizar la cantidad de agua recuperada y reutilizada, minimizando las pérdidas durante los procesos de captación, filtración y redistribución. Un sistema eficiente no solo contribuye a reducir el consumo neto de agua, sino que también disminuye los costos operativos asociados a la compra, tratamiento y bombeo del recurso.

Para lograr una alta eficiencia, es fundamental considerar factores como la calidad del agua recuperada, la selección adecuada de tecnologías de tratamiento y la integración óptima con los procesos productivos existentes. Según estudios recientes (García et al., 2022), la implementación de sistemas de control automático basados en sensores y monitoreo continuo mejora significativamente el rendimiento de estos sistemas, al permitir ajustes dinámicos que optimizan la recuperación en función de las condiciones reales de operación.

Además, la eficiencia operativa está estrechamente relacionada con la sostenibilidad ambiental, ya que sistemas bien diseñados reducen la huella hídrica y el consumo energético, contribuyendo a la mitigación de impactos ambientales negativos. La adopción de tecnologías limpias y la mejora continua en el diseño de sistemas de recuperación se posicionan como pilares para alcanzar operaciones industriales más sostenibles y competitivas.

3.1.12 Sostenibilidad y Gestión Integral del Agua en la Industria

La gestión integral del agua en la industria se basa en la planificación, control y optimización del uso de los recursos hídricos, buscando un equilibrio entre la demanda productiva y la conservación ambiental. La sostenibilidad en este contexto implica la implementación de prácticas y tecnologías que permitan reducir el consumo, reutilizar aguas residuales y minimizar la generación de contaminantes.

Según López y Martínez (2021), adoptar una estrategia integral para la gestión del agua no solo mejora la eficiencia en el uso del recurso, sino que también reduce el impacto ambiental asociado a la extracción y descarga de aguas industriales. Esta gestión se complementa con sistemas de recuperación que facilitan la reutilización interna del agua, promoviendo la economía circular dentro de la planta.

La sostenibilidad hídrica también está vinculada con el cumplimiento normativo y las expectativas sociales, ya que la presión sobre los recursos naturales exige que las industrias adopten medidas responsables y transparentes en su gestión del agua. Por tanto, la integración de sistemas de recuperación de agua dentro de un marco de gestión integral se convierte en un componente clave para garantizar operaciones industriales ambientalmente responsables y económicamente viables.

3.1.13 Gestión Integral del Agua en Plantas de Producción de Alimentos

La gestión integral del agua en plantas de producción de alimentos implica la planificación, control y optimización de todos los procesos relacionados con el uso, tratamiento y recuperación del recurso hídrico. Este enfoque busca maximizar la eficiencia en el consumo de agua, minimizar la generación de residuos líquidos y garantizar la calidad del agua para los diferentes usos dentro de la planta, desde el proceso productivo hasta la limpieza y sanitización (FAO, 2022).

Una gestión integral efectiva requiere la implementación de sistemas de monitoreo continuo que permitan identificar fugas, pérdidas o consumos innecesarios, así como la adopción de tecnologías que faciliten la reutilización de aguas residuales tratadas. Además, es fundamental capacitar al personal en buenas prácticas de manejo del agua y fomentar una cultura organizacional orientada a la sostenibilidad. La integración de indicadores de desempeño hídrico,

Como el índice de consumo por tonelada producida, permite evaluar la eficiencia y establecer metas de mejora continua (García et al., 2022).

La gestión integral también debe considerar la relación con proveedores y clientes, promoviendo cadenas de valor sostenibles que reduzcan el impacto ambiental a lo largo de todo el ciclo de vida del producto. En este sentido, la colaboración intersectorial y el cumplimiento de normativas ambientales son esenciales para asegurar la viabilidad y responsabilidad social de las operaciones (Ministerio del Ambiente, 2021).

El uso de tecnologías digitales, como plataformas de gestión energética e hídrica, contribuye a la toma de decisiones informadas y a la optimización de recursos. Estas herramientas permiten analizar datos en tiempo real, detectar desviaciones y aplicar correcciones inmediatas, lo que se traduce en ahorros significativos y reducción del impacto ambiental. Así, la gestión integral del agua se posiciona como un componente clave para la competitividad y sostenibilidad de la industria alimentaria (FAO, 2022; García et al., 2022).

3.1.14 Innovación Tecnológica y Automatización en el Control del Agua

La innovación tecnológica y la automatización han revolucionado el control y gestión del agua en la industria alimentaria, permitiendo una mayor precisión, eficiencia y sostenibilidad en el uso del recurso hídrico. La incorporación de sensores inteligentes, sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) y tecnologías IoT (Internet de las Cosas) facilita el monitoreo en tiempo real de parámetros como caudal, calidad, presión y consumo, posibilitando respuestas rápidas ante cualquier anomalía (García et al., 2022).

Estas tecnologías permiten optimizar el uso del agua mediante el control automatizado de procesos, evitando desperdicios y ajustando el consumo según las necesidades específicas de producción. Por ejemplo, en sistemas de limpieza

CIP (Cleaning In Place), la automatización regula el volumen y concentración de agua y detergentes, reduciendo el consumo y mejorando la eficiencia (Metcalf & Eddy, 2014).

Además, la integración de análisis predictivos y mantenimiento preventivo basado en datos permite anticipar fallas y optimizar la operación de equipos de tratamiento y recuperación de agua. Esto no solo mejora la disponibilidad y calidad del agua, sino que también prolonga la vida útil de los sistemas, disminuyendo costos de mantenimiento y operación (García et al., 2022).

La innovación tecnológica también se extiende a la aplicación de nuevas técnicas de tratamiento, como la electrocoagulación, fotocátalisis y membranas avanzadas, que ofrecen mayor eficiencia y menor impacto ambiental. La combinación de estas tecnologías con la automatización contribuye a desarrollar plantas más inteligentes y sostenibles, alineadas con los objetivos de producción más limpia y economía circular (Serrano, 2017).

3.1.15 Desafíos y Oportunidades en la Gestión Hídrica de la Industria Alimentaria

La gestión hídrica en la industria alimentaria enfrenta diversos desafíos, entre los que destacan la escasez creciente de agua, la variabilidad en la calidad de las fuentes, la complejidad de los procesos productivos y la necesidad de cumplir con normativas cada vez más exigentes. Estos factores obligan a las empresas a adoptar estrategias innovadoras y sostenibles para garantizar la disponibilidad y calidad del agua, así como la viabilidad económica de sus operaciones (FAO, 2022).

Uno de los principales retos es la integración de tecnologías de tratamiento y recuperación que sean eficientes, económicas y adaptables a las características específicas de cada planta. La heterogeneidad de los efluentes generados y la variabilidad en la demanda de agua requieren soluciones flexibles y escalables.

Además, la capacitación del personal y la sensibilización sobre la importancia del uso responsable del agua son aspectos clave para el éxito de las iniciativas (García et al., 2022).

Las oportunidades surgen con la adopción de modelos de economía circular y producción más limpia, que permiten transformar residuos y aguas residuales en recursos valiosos, generando beneficios ambientales y económicos. La colaboración entre empresas, gobiernos y academia es fundamental para impulsar la innovación, desarrollar normativas adecuadas y promover buenas prácticas en la gestión hídrica (Ministerio del Ambiente, 2021).

Asimismo, la digitalización y la automatización ofrecen herramientas poderosas para mejorar el monitoreo, control y optimización del consumo de agua, facilitando la toma de decisiones basadas en datos y la mejora continua. La inversión en estas tecnologías representa una oportunidad para aumentar la eficiencia, reducir costos y fortalecer la sostenibilidad del sector alimentario (García et al., 2022).

En conclusión, aunque la gestión hídrica en la industria alimentaria presenta desafíos significativos, también ofrece múltiples oportunidades para innovar, mejorar la eficiencia y contribuir al desarrollo sostenible, consolidando el compromiso del sector con la responsabilidad ambiental y social (FAO, 2022; Ministerio del Ambiente, 2021).

3.2 Marco conceptual

3.2.1 Recuperación de agua

La recuperación de agua consiste en recolectar, tratar y reutilizar el agua que se genera durante los procesos industriales, evitando su desperdicio y fomentando prácticas sostenibles (Hernández Candelario & Bourne Morán, 2024). Este proceso es especialmente importante en la industria alimentaria, donde el uso intensivo de agua en actividades como la refrigeración y la limpieza ofrece grandes oportunidades

para disminuir costos operativos y reducir el impacto ambiental (Díaz Porras & Ocampo Barbosa, 2021).

Al implementar sistemas eficientes de recuperación, las plantas no solo optimizan el consumo de agua, sino que también mejoran significativamente su imagen ambiental y cumplen con las exigencias normativas actuales, lo que fortalece su competitividad. Además, esta práctica contribuye a asegurar un uso más responsable y consciente de los recursos, vital para la sostenibilidad y la continuidad operativa a largo plazo de la industria alimentaria, especialmente en un contexto de creciente escasez hídrica y regulación ambiental más estricta.

3.2.2 Sistema Mecánico

Un sistema mecánico es un conjunto de elementos o dispositivos que trabajan en conjunto para transformar, transferir o controlar energía, permitiendo realizar tareas específicas basadas en principios físicos y mecánicos (Rodríguez Molina, 2014). En este caso, el sistema mecánico propuesto está compuesto por componentes como bombas, filtros, tuberías, sensores y controladores, que han sido diseñados cuidadosamente para optimizar la captación y reutilización del agua condensada en la planta de producción. Este sistema busca no solo mejorar la eficiencia en la recuperación del agua, sino también asegurar un funcionamiento confiable y automatizado, adaptándose a las condiciones reales de operación y facilitando el mantenimiento y control en tiempo real.

3.2.3 Eficiencia Operativa

La eficiencia operativa se entiende como la habilidad de una organización para obtener los mejores resultados posibles empleando la menor cantidad de recursos, como agua, energía y tiempo, de manera efectiva y sostenible (Botero, 2020). La implementación adecuada de sistemas de recuperación de agua juega un papel fundamental en mejorar esta eficiencia, ya que permite disminuir

considerablemente el consumo hídrico y reduce las interrupciones inesperadas en los procesos industriales, lo que optimiza el rendimiento general de la planta. Además, estos sistemas facilitan una operación más continua y confiable, contribuyendo a menores costos y a una gestión más responsable de los recursos naturales, aspectos clave para mantener la competitividad y sostenibilidad en el sector industrial actual.

3.2.4 Sostenibilidad

La sostenibilidad en la industria alimentaria implica una gestión cuidadosa y responsable de los recursos naturales y económicos, asegurando que las operaciones sean viables y beneficiosas a largo plazo sin perjudicar el equilibrio ambiental ni el bienestar social (Botero, 2020). Los sistemas de recuperación de agua juegan un papel fundamental para alcanzar estos objetivos, ya que ayudan a disminuir la dependencia de fuentes externas, que pueden ser limitadas o costosas, y reducen significativamente la carga ambiental asociada al desperdicio del agua. Además, la adopción de estas tecnologías contribuye a fomentar una cultura empresarial más consciente y comprometida con el cuidado del planeta, promoviendo prácticas que aseguren la disponibilidad del recurso para futuras generaciones y mejorando la reputación y competitividad de las empresas en un mercado cada vez más exigente en temas de sostenibilidad.

3.2.5 Costos Operativos

Los costos operativos son los gastos recurrentes que una planta debe afrontar para mantener sus actividades diarias, abarcando aspectos como el consumo de agua, la energía eléctrica y el mantenimiento de la maquinaria y equipos (Hernández Candelario & Bourne Morán, 2024). La implementación eficiente de sistemas mecánicos de recuperación de agua contribuye de manera significativa a la reducción de estos costos, al disminuir el volumen de agua fresca requerida y optimizar el uso energético. Esta disminución no solo mejora la rentabilidad económica de la planta,

sino que también fortalece su competitividad en el mercado, al permitir operar con mayor eficiencia y responsabilidad ambiental. Además, la reducción de costos operativos genera un impacto positivo en la sostenibilidad financiera, facilitando inversiones en tecnologías limpias y fomentando prácticas industriales más sostenibles.

3.2.6 Impacto Ambiental

El impacto ambiental se refiere a los efectos negativos que las actividades industriales pueden generar sobre el entorno natural, como el desperdicio innecesario de agua y la contaminación derivada de su tratamiento y descarga (Díaz Porras & Ocampo Barbosa, 2021). Implementar sistemas eficientes de recuperación de agua ayuda a minimizar significativamente estos impactos, fomentando prácticas industriales más limpias, responsables y sostenibles. Además, esta gestión contribuye a preservar los recursos hídricos, proteger la biodiversidad local y reducir la huella ecológica de la planta, elementos esenciales para garantizar un desarrollo industrial armonioso con el medio ambiente y con las comunidades circundantes.

3.2.7 Gestión Integrada de los Recursos Hídricos

La gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH) es un enfoque holístico que busca coordinar el desarrollo, la gestión y el uso sostenible del agua, la tierra y otros recursos relacionados para maximizar el bienestar social, económico y ambiental. Según la FAO (2022), la GIRH promueve la integración de políticas y acciones en diferentes sectores y niveles, buscando un equilibrio entre las necesidades humanas, la conservación de los ecosistemas y la resiliencia frente al cambio climático. En la industria alimentaria, donde el agua es un insumo esencial en la producción y procesamiento de alimentos, la GIRH permite optimizar su uso, reducir pérdidas y fomentar la reutilización segura, contribuyendo a sistemas agroalimentarios más sostenibles y eficientes.

Este marco conceptual enfatiza la importancia de la cooperación entre actores públicos, privados y comunitarios para gestionar el agua como un recurso finito y compartido. Además, la GIRH considera la adaptación a los impactos del cambio climático, la protección de la biodiversidad y la seguridad hídrica como elementos clave para garantizar la sostenibilidad a largo plazo. La FAO destaca que la implementación de la GIRH está alineada con la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente los relacionados con el agua limpia y el saneamiento (ODS 6) y la producción sostenible (ODS 12).

En la práctica, la GIRH en la industria alimentaria implica la adopción de tecnologías eficientes, la gestión del ciclo del agua dentro de las plantas, la recuperación de aguas residuales y la planificación integrada con las comunidades y ecosistemas circundantes. Este enfoque promueve la innovación, la eficiencia y la responsabilidad social, posicionando a las empresas como agentes activos en la conservación del recurso hídrico y la mitigación de riesgos ambientales (FAO, 2022).

3.2.8 Derecho Humano al Agua y al Saneamiento

El Derecho Humano al Agua y al Saneamiento (DHAS) reconoce que toda persona debe tener acceso a agua potable suficiente, segura, aceptable, físicamente accesible y asequible para usos personales y domésticos. Este derecho, consagrado por organismos internacionales, implica responsabilidades no solo para los gobiernos sino también para actores privados, incluyendo la industria alimentaria, que debe asegurar que sus actividades no comprometan el acceso de las comunidades al agua ni deterioren su calidad (Universidad Politécnica de Cataluña & Pontificia Universidad Católica del Perú, s.f.).

El DHAS promueve principios de equidad, transparencia, participación social y responsabilidad ambiental, impulsando prácticas sostenibles y éticas en la gestión del agua. En el contexto industrial, esto implica implementar sistemas de gestión hídrica que minimicen el consumo y la contaminación, así como garantizar la

seguridad del agua utilizada en procesos productivos para evitar impactos negativos en la salud pública y el medio ambiente.

Además, el DHAS fomenta la rendición de cuentas y la inclusión de las comunidades en la toma de decisiones relacionadas con el agua, promoviendo un uso equitativo y sostenible del recurso. La industria alimentaria, al ser un gran consumidor de agua, debe alinearse con este marco para contribuir al desarrollo sostenible y fortalecer su licencia social para operar (Universidad Politécnica de Cataluña & Pontificia Universidad Católica del Perú, s.f.).

3.2.9 Huella Hídrica en la Cadena Alimentaria

La huella hídrica es un indicador que mide el volumen total de agua consumida directa e indirectamente en la producción de bienes y servicios, incluyendo alimentos. Según EsAgua (2023), evaluar la huella hídrica en la cadena alimentaria permite identificar los puntos críticos donde se concentra el mayor consumo de agua, desde la producción agrícola de materias primas hasta la transformación industrial y distribución.

Este concepto es fundamental para implementar estrategias de eficiencia hídrica, ya que posibilita la reducción del consumo por unidad de producto mediante buenas prácticas, tecnologías más eficientes y la reutilización segura de aguas residuales. La huella hídrica también promueve la colaboración entre agricultores, procesadores, distribuidores y consumidores para garantizar un abastecimiento sostenible y minimizar el impacto ambiental asociado al agua.

Además, el análisis de la huella hídrica es una herramienta clave en la gestión del agua basada en el ciclo de vida, facilitando la toma de decisiones orientadas a la sostenibilidad y la responsabilidad social. La industria alimentaria puede utilizar esta información para mejorar su desempeño ambiental, cumplir con regulaciones y responder a demandas crecientes de consumidores conscientes (EsAgua, 2023).

3.2.10 Economía Circular y Reutilización del Agua en la Industria Alimentaria

La economía circular aplicada a la gestión del agua en la industria alimentaria busca cerrar los ciclos de uso del recurso hídrico mediante su regeneración, desinfección y reutilización, transformando las corrientes líquidas residuales en recursos valiosos. Según Ainia (2024), este modelo implica optimizar consumos, eliminar pérdidas y fomentar la reutilización interna o externa del agua, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental y a la eficiencia económica.

La reutilización de aguas de proceso y residuales es una práctica clave dentro de la economía circular, que permite reducir la extracción de agua potable y minimizar la contaminación ambiental. Este enfoque también posiciona a las empresas como sostenibles y comprometidas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente en contextos de escasez hídrica y presión ambiental.

La innovación tecnológica juega un papel fundamental en esta transición, facilitando el tratamiento avanzado y seguro del agua para su reúso en diferentes etapas productivas. La economía circular en el agua promueve además la recuperación de subproductos y nutrientes presentes en las corrientes residuales, agregando valor y fomentando la eficiencia integral de los procesos (Ainia, 2024).

3.2.11 Análisis y Control de la Calidad del Agua en la Industria Alimentaria

El análisis y control de la calidad del agua en la industria alimentaria es esencial para garantizar la seguridad e inocuidad de los productos, así como para proteger la salud pública. Según Orozco Lab (2024), el agua utilizada en la producción debe cumplir con estrictos parámetros microbiológicos, físicos y químicos para evitar la contaminación de alimentos y asegurar que los procesos de limpieza y desinfección sean efectivos.

El monitoreo constante de la calidad del agua permite detectar posibles contaminantes y aplicar tratamientos adecuados para mantener los estándares

requeridos. Esto incluye la evaluación de parámetros como turbidez, pH, presencia de microorganismos patógenos, metales pesados y residuos químicos. La implementación de tecnologías de análisis avanzadas y sistemas de control automatizados facilita la supervisión en tiempo real y la toma de decisiones rápidas para corregir desviaciones.

Además, el control de calidad del agua es un requisito normativo y una práctica de responsabilidad social empresarial, que contribuye a la confianza del consumidor y a la sostenibilidad operativa. La industria alimentaria debe integrar estos procesos en su gestión integral del agua para asegurar la calidad del recurso y la seguridad alimentaria (Orozco Lab, 2024).

3.3 Memoria Técnica del Sistema

Actividades realizadas: Se diseñó un sistema mecánico para optimizar la recuperación de agua en los procesos de limpieza y refrigeración. Se realizó un análisis de las necesidades de la planta, revisando la infraestructura existente y normativas (Reglamento Nacional de Edificaciones, NTP, Ley N° 29338) para garantizar compatibilidad y sostenibilidad. Los componentes se seleccionaron según estándares técnicos (ISO 15874, ISO 15875, ASTM A36, ASME B16.9) y especificaciones de Inka Crops, priorizando materiales duraderos y eficientes.

Especificaciones:

- **Bombas:** Se seleccionaron tres bombas verticales (modelo 3022, 60 m³/h) para impulsar agua a tanques, basadas en el caudal requerido (180 m³/h total) y presión (35 PSI).
- **Tuberías:** Se diseñaron tramos de PPR (6": 110 m, ISO 15874; 4": 140 m, ISO 15875) para transporte principal y acero al carbono (6": 10 m; 4": 12 m; 3": 110 m; 2": 20 m, ASTM A36) para conexiones robustas a bombas e intercambiadores.

- Accesorios: Se planificaron codos (6": 10 unidades; 4": 4 unidades, ASME B16.9) y para conexiones.
- Filtros: Para eliminar sólidos/almidón.
- Hidrociclones: Para separar almidón.
- Intercambiadores de calor: Diseñados con pérdidas de 9 mca y altura geotécnica de 7.8 mca, para enfriamiento a 30°C.
- Torre de enfriamiento: Para demanda máxima.
- Condiciones: 30°C, 35 PSI, 180 m³/h.
- Normativas: Reglamento Nacional de Edificaciones, NTP, Ley N° 29338, ODS 6.
- Exclusiones: Sistema de desagüe.

Tabla 1

Cuadro de memoria técnica

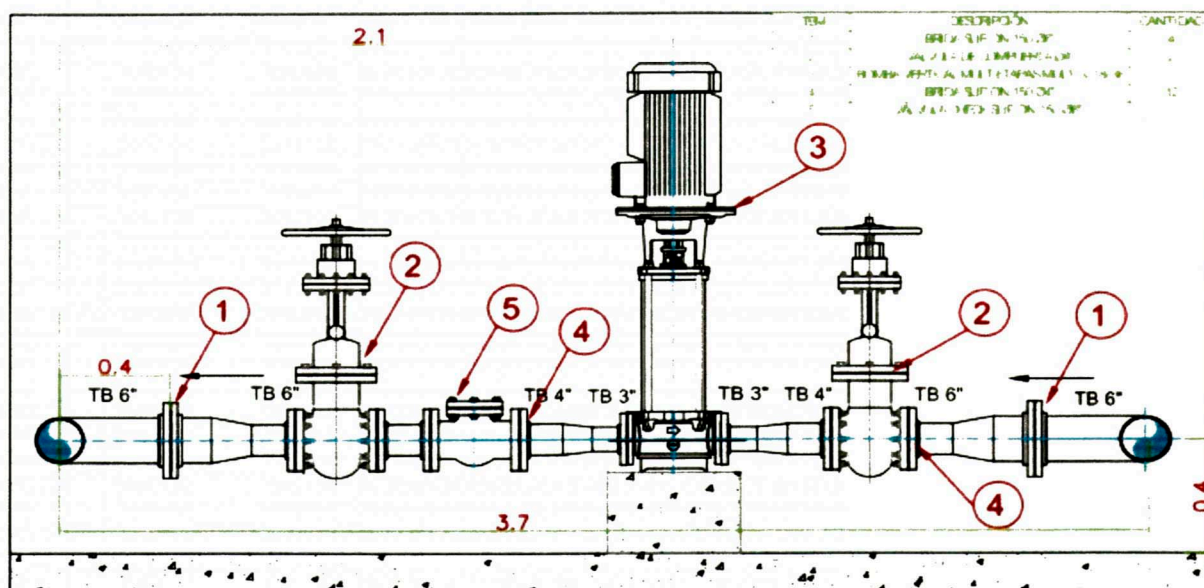
Aspecto	Descripción	Detalles Técnicos	Normativas/Uso
Objetivos	Optimizar recursos hídricos y costos operativos.	- Reducción de agua: 25%. - Reducción de costos: 15%. - Eficiencia operativa: $\geq 70\%$.	Ley de Recursos Hídricos N° 29338, ODS 6.
Bombas	Impulsión de agua para limpieza/refrigeración.	- Tipo: 3 bombas verticales, modelo 3022. - Caudal: 60 m³/h por bomba.	Conexión a tanques de agua, operación en paralelo.
Tuberías	Transporte de agua (impulsión/retorno).	- 6" PPR (110 m, ISO 15874), acero al carbono (10 m, ASTM A36). - 4" PPR (140 m, ISO 15875), acero al carbono (12 m, ASTM A36). - 3" acero al carbono (110 m, ASTM A36). - 2" acero al carbono (20 m, ASTM A36).	Transporte de agua, conexión a bombas e intercambiadores.
Accesorios	Conexiones para tuberías.	- Codos: 6" (10 unid., ASME B16.9), 4" (4 unid., ASME B16.9).	Conexión del sistema de tuberías.
Filtros	Eliminación de sólidos/almidón.	- Tipo: ultrafiltración	Calidad del agua recuperada.
Hidrociclones	Separación de almidón.		Proceso de lavado
Intercambiadores de calor	Enfriamiento del agua.	- Pérdidas máximas: 9 mca. - Altura geotécnica: 7.8 mca.	Refrigeración del sistema.

Torre enfriamiento	de	Soporte a demanda máxima.		Flujo de 60 m ³ /h por bomba.
Condiciones de operación	de	Parámetros operativos.	- Temperatura: 30°C. - Presión: 35 PSI. - Caudal total: 180 m ³ /h (3 bombas).	Verificadas mediante calibración
Normativas		Estándares técnicos/ambientales.	- Reglamento Nacional de Edificaciones. - Normas Técnicas Peruanas (NTP). - Estándares de Inka Crops. - Ley de Recursos Hídricos N° 29338.	Calidad, seguridad, sostenibilidad.
Exclusiones		Elementos no incluidos.	- Sistema de desagüe (suministro/materiales).	No forma parte del proyecto.

Nota. Esta tabla muestra los detalles técnicos de cada aspecto

Figura 1

Instalación de bomba vertical



Nota. La figura muestra las partes para la instalación de la bomba en vertical

3.4 Cálculos Técnicos del Sistema

Actividades realizadas: Se realizaron cálculos para dimensionar el sistema, asegurando un caudal de 180 m³/h a 35 PSI y 30°C. Se aplicó la ecuación de Darcy-Weisbach para pérdidas de carga, considerando la rugosidad de tuberías (PPR, acero al

carbono) y accesorios. La altura de bombeo se calculó para compensar pérdidas y altura geotécnica, y el caudal se dimensionó para la demanda máxima, basándose en la capacidad de las bombas (modelo 3022).

Pérdidas de Carga

El agua que fluye por las tuberías pierde energía debido a la fricción contra las paredes internas y los accesorios (codos, tees, válvulas, etc.). Esta pérdida de energía, conocida como "pérdida de carga", se calcula con la ecuación de Darcy-Weisbach, ideal para el flujo turbulento en las tuberías del sistema:

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \dots \dots (1)$$

Lo que vemos en la ecuación (1), que significa cada término:

- h_f : Pérdida de energía, expresada como la altura equivalente que el agua perdería (en metros de columna de agua, mca). Por ejemplo, si ($h_f = 5$) mca, las bombas necesitan "levantar" el agua 5 metros adicionales para compensar.
- f : Coeficiente de fricción, que indica cuán rugosa es la tubería
- L : Longitud total de las tuberías (en metros):
 - 6" PPR: 110 m (ISO 15874).
 - 6" acero al carbono: 10 m (ASTM A36).
 - 4" PPR: 140 m (ISO 15875).
 - 4" acero al carbono: 12 m (ASTM A36).
 - 3" acero al carbono: 110 m (ASTM A36).
 - 2" acero al carbono: 20 m (ASTM A36).
- D : Diámetro interno de la tubería (en metros):
 - 6" = 0.1524 m.
 - 4" = 0.1016 m.

- 3" = 0.0762 m.
- 2" = 0.0508 m.
- V: Velocidad del agua dentro de la tubería (en m/s).
- 9.81: Aceleración de la gravedad (m/s²).

Valores adicionales:

- Pérdidas en los intercambiadores de calor (enfriadores): 9 mca.
- Altura geotécnica (diferencia de altura entre puntos): 7.8 mca.
- Accesorios: Incluyen 10 codos de 6" y 4 codos de 4" (ASME B16.9), bridas, tees, reducciones, válvulas, y uniones flexibles

Esta ecuación calcula cuánta energía deben compensar las bombas para mantener el flujo de agua a través del sistema.

Figura 2

Cálculo de número de Reynolds para determinar tipo de flujo

CALCULO DE NUMERO DE REYNOLDS			
TUBERÍA	6	in	
Caudal	100	m3/h	
diámetro externo	168.3	mm	
espesor	7.11	mm	
diámetro interno	154.08	mm	
	0.15408	m	
e/D	0.00058411		
area interna	0.01864586	m2	
velocidad de tuber	5363.1208	m/h	
	1.48975578	m/s	
densidad del fluido	992	kg/m3	
viscosidad cinemática	6.58E-07	m2/s	
número de reynolds	348847.371		turbulento
f			

CALCULO DE NUMERO DE REYNOLDS			
TUBERÍA ACERO	3	in	
Caudal	25	m3/h	
diámetro externo	88.9	mm	
espesor	5.49	mm	
diámetro interno	77.92	mm	
	0.07792	m	
e/D	0.00115503		
area interna	0.00476857	m2	
velocidad de tuber	5242.66659	m/h	
	1.45629628	m/s	
densidad del fluido	992	kg/m3	
viscosidad cinemática	6.58E-07	m2/s	
número de reynolds	172453.808		turbulento
f	0.0285		

CALCULO DE NUMERO DE REYNOLDS			
TUBERÍA ACERO	4	in	
Caudal	50	m3/h	
diámetro externo	114.3	mm	
espesor	6.02	mm	
diámetro interno	102.26	mm	
	0.10226	m	
e/D	0.00088011		
area interna	0.00821299	m2	
velocidad de tuber	6087.91452	m/h	
	1.69108737	m/s	
densidad del fluido	992	kg/m3	
viscosidad cinemática	6.58E-07	m2/s	
número de reynolds	262812.453		turbulento
f	0.0285		

Nota. Datos de las pérdidas de carga (mca) en función del caudal (m³/h) para los diámetros de tuberías (6", 4", 3")

Altura Total de Bombeo

Las bombas deben generar suficiente energía para mover el agua, superar la diferencia de altura, y compensar las pérdidas por fricción y accesorios. La altura total de bombeo (HT) se calcula con:

$$[HT = h_f + h_{\{geo\}} + h_{\{acc\}}] \dots (2)$$

En la ecuación (2), que significa cada término:

- (h_f) : Pérdidas por fricción en las tuberías (mca, calculadas con Darcy-Weisbach,

- (h_{geo}): Diferencia de altura entre el punto inicial y final del sistema (7.8 mca).
- (h_{acc}): Pérdidas por accesorios (codos, tees, válvulas, etc.).

Resultados:

- Altura total: Entre 42 y 50 mca, dependiendo de las condiciones operativas.
- Componentes:
 - Pérdidas en enfriadores: 9 mca.
 - Altura geotécnica: 7.8 mca.
 - Pérdidas por fricción y accesorios: [Pendiente: calcular con datos de accesorios].

Esta altura asegura que las tres bombas verticales (modelo 3022) puedan mover el agua eficientemente.

Caudal del Sistema

El sistema está diseñado para manejar un caudal total de 180 m³/h, proporcionado por tres bombas verticales (modelo 3022, 60 m³/h cada una) operando en paralelo. Este caudal soporta los procesos de limpieza y refrigeración, asegurando una recuperación de al menos el 70% del agua.

Detalles:

- Caudal **por bomba**: 60 m³/h.
- **Caudal total**: 180 m³/h.
- **Presión operativa**: 35 PSI (2.41 bar).

Dimensionamiento para la Demanda Máxima

El sistema está diseñado para soportar el flujo máximo durante las horas de mayor demanda, manteniendo la presión en 35 PSI. Las tuberías (PPR y acero al carbono,

diámetros 6", 4", 3") y accesorios (codos, bridas, tees, etc.) están dimensionados para integrarse con la infraestructura existente, con longitudes manejables (110 m, 140 m, etc.).

Detalles:

- Flujo **máximo: 180 m³/h.**
- **Presión operativa:** 35 PSI.

Condiciones de Operación

El sistema opera bajo:

- Temperatura del agua: 30°C, asegurada por intercambiadores de calor.
- Presión: 35 PSI (2.41 bar), mantenida por las bombas.
- Caudal total: 180 m³/h (60 m³/h por bomba).
- Materiales:
- Tuberías: PPR (ISO 15874/15875) y acero al carbono (ASTM A36).
- Accesorios: Codos de acero al carbono (ASME B16.9)

Podemos calcular su altura de bomba para un caudal de 60 m³/h.

Se tienen los datos:

Tabla 2

Cálculo de altura para la bomba

H1- H2(Geodésica)	7.8	m
Caída de presión	2.4	m
Pérdidas	2	m

La altura y potencia se obtiene:

Tabla 3*Cálculo de altura y potencia*

Q (CAUDAL)	60	m ³ /h
	16.68	lt/s
H (ADT)	12.2	m
EFICIENCIA (n)	0.6	
POTENCIA	4.52	Hp

Para obtener la potencia del motor de la bomba se tiene:

Tabla 4*Calculo para la potencia de motor de la bomba*

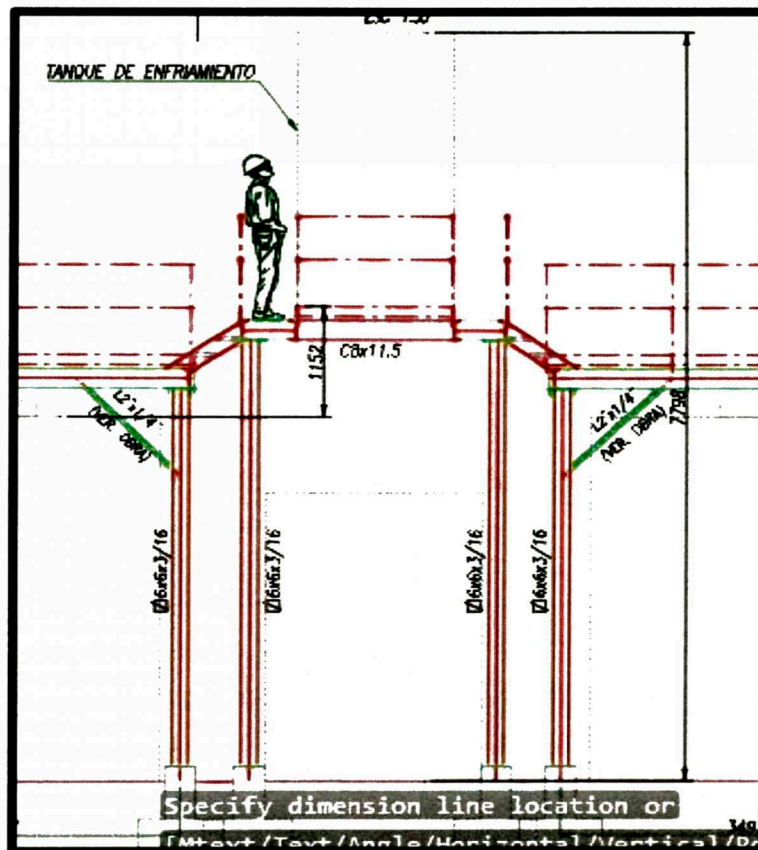
Motor trifasico	5.878773333	HP
Motor monofasico	6.7832	HP

Se recomienda usar la torre existente de 50 m³/h y otra de 70 m³/h o usar dos bombas de 60 m³/h para igualar el caudal máximo del flujo de bombas.

Para la descarga de la torre de enfriamiento analizamos la altura existente de la torre hacia los tanques:

Figura 3

Estructura metálica para torre de enfriamiento

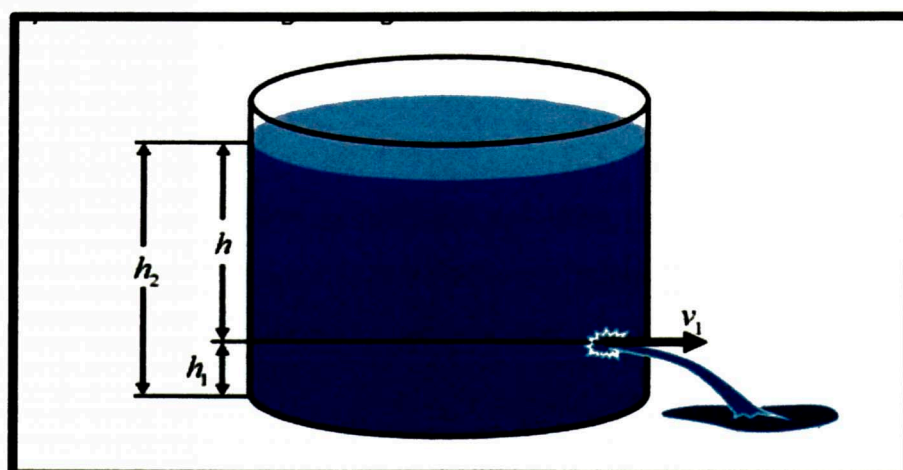


Nota. La imagen muestra la estructura metálica de la torre de enfriamiento

Vemos que su altura de descarga es de 1.1 m de altura por lo cual se puede analizar el caudal de salida de la torre hacia el tanque:

Figura 4

Esquema de descarga por gravedad para torre de enfriamiento



Se obtiene el valor:

Tabla 5

Cálculo de altura de la torre para el caudal hacia el tanque

h	1.03556	m
V1	4.50751453	m/s
diámetro	102.26	mm
	0.10226	m
Caudal	0.03702019	m3/s
	133.272669	m3/hr

Por lo que se puede confirmar que no habrá problemas con su funcionamiento al ser mayor a 120 m3/hr.

3.5 Planos del Sistema Mecánico

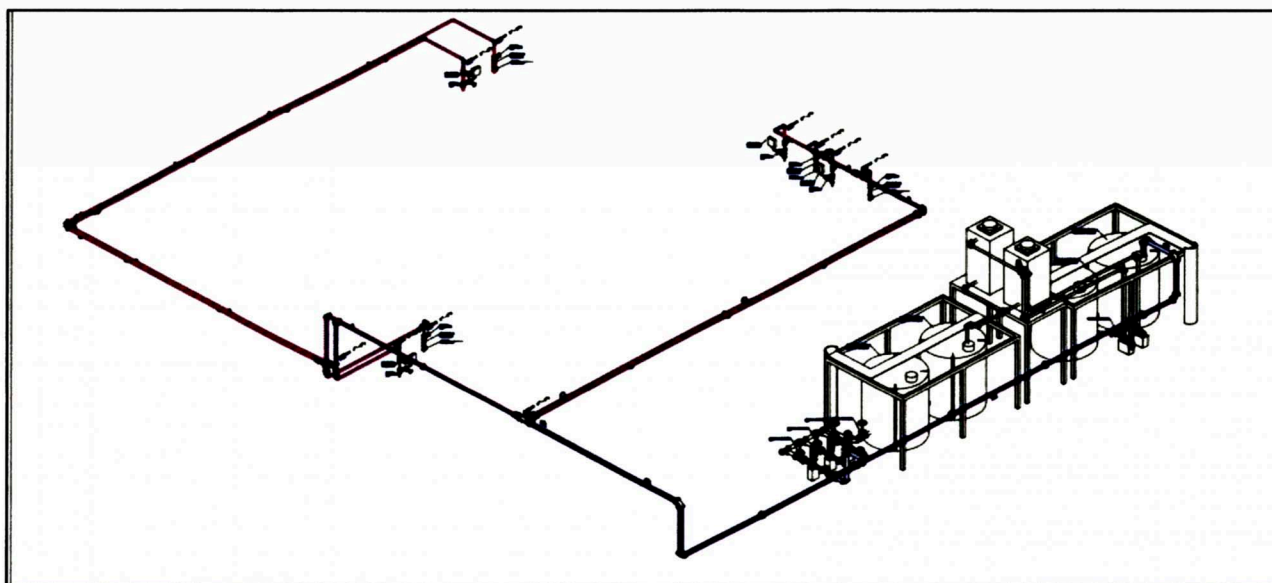
Actividades realizadas: Se elaboraron planos técnicos para planificar la disposición de componentes, integrándolos con la infraestructura existente. El plano general ("IK-General") se desarrolló tras un levantamiento topográfico de la planta. El layout de drenajes se diseñó analizando puntos de recolección de aguas residuales. Los planos mecánicos se elaboraron con software CAD, detallando conexiones y componentes.

Planos:

- General de planta: Ubicación de tanques, bombas, tuberías, torre.
- Drenajes: Puntos de recolección, hidrociclones, tuberías de retorno.
- Mecánicos: Bombas, tuberías, accesorios (codos 6": 10, 4": 4), filtros, intercambiadores, torre.

Figura 5

Vista isométrica de sistema de bombeo



Nota. La figura muestra una vista isométrica de bombeo

3.6 Protocolos de Pruebas Hidrostáticas

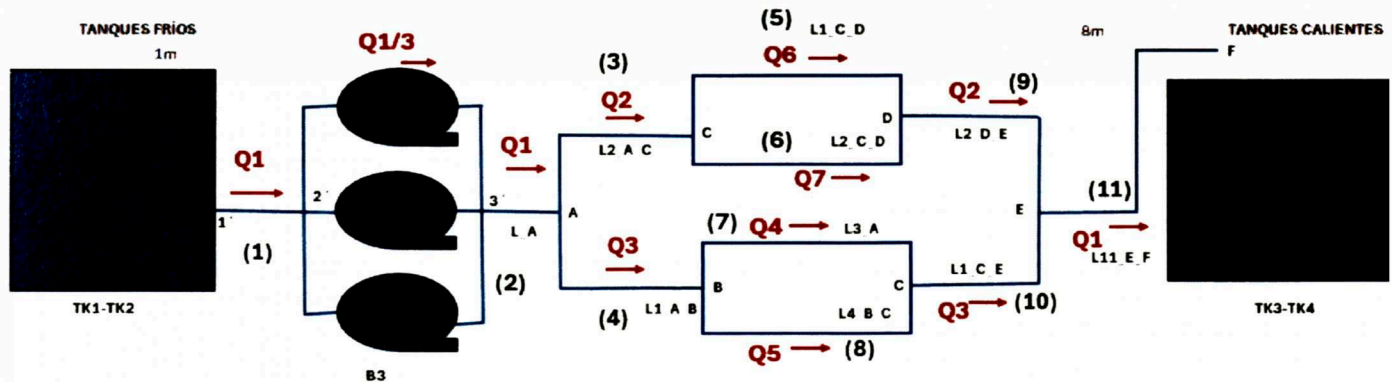
Actividades realizadas: Se diseñó un procedimiento para verificar la integridad de tuberías y accesorios, seleccionando equipos (bomba de prueba, manómetros) y definiendo pasos basados en normativas (NTP, ASME B16.9).

Procedimiento:

1. Inspección visual de tuberías/accesorios.
2. Llenado con agua.
3. Presurización.
4. Monitoreo con manómetros.

Figura 6

Esquema de sistema de bombeo para determinación de caudales en líneas de tuberías



Nota. La figura muestra el esquema de sistema de bombeo

3.7 Cronograma de Actividades

Actividades realizadas: Se planificó un cronograma (enero–abril 2025) mediante un diagrama de Gantt, identificando tareas clave, asignando duraciones, y secuenciando actividades.

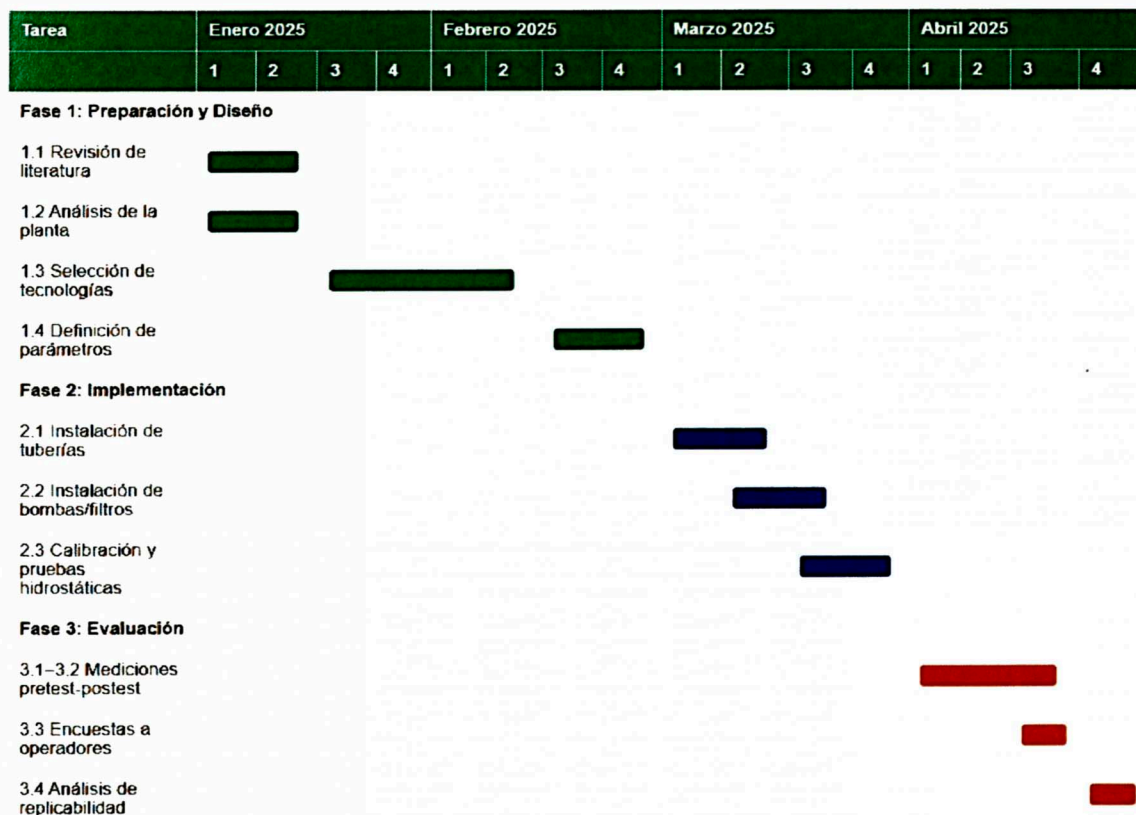
Cronograma:

- Fase 1 (Enero–Febrero): Revisión de literatura (Serrano, 2017; López, 2008), análisis de planta, selección de tecnologías, parámetros.
- Fase 2 (Marzo): Instalación de tuberías, bombas/filtros, pruebas hidrostáticas.
- Fase 3 (Abril): Evaluación (mediciones, encuestas, replicabilidad).

Figura 7

Diagrama de Gantt – Sistema de Recuperación de Agua

Diagrama de Gantt - Sistema de Recuperación de Agua



Nota. La figura muestra un cronograma basado en el diagrama de Gantt

3.8 Instrumentos de Recolección de Datos

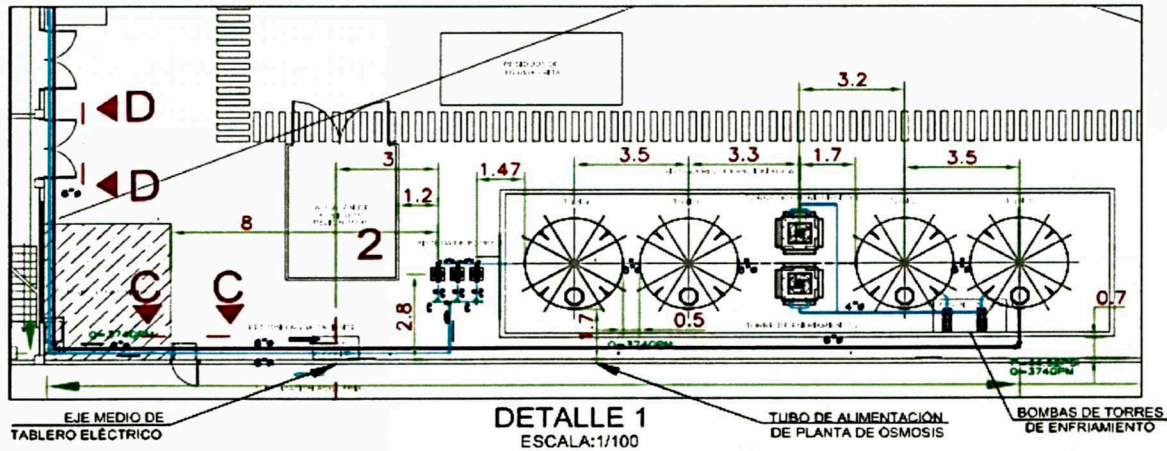
Actividades realizadas: Se seleccionaron instrumentos para evaluar el sistema, diseñando su ubicación y especificaciones según normativas (NTP, IEC 60898-1).

Instrumentos:

- Sensores de caudal: en tuberías/tanques.
- Sensores de flujo/temperatura: para 30°C, 60 m³/h.
- Medidores de energía: en bombas (10.94 A).
- Software: SCADA.

Figura 8

Vista de planta de sistema de tuberías para sistema de enfriamiento



Nota. En la figura se muestra la vista del sistema de tuberías

3.9 Especificaciones de Materiales

Actividades realizadas: Se seleccionaron materiales analizando su resistencia, compatibilidad, y normativas (ISO 15874, ASTM A36).

Materiales:

- Tuberías: 6" PPR (110 m), acero (10 m); 4" PPR (140 m), acero (12 m); 3" acero (110 m); 2" acero (20 m).
- Accesorios: Codos 6" (10), 4" (4).
- Bombas: Modelo 3022, 60 m³/h.

CAPÍTULO IV.

DISEÑO METODOLÓGICO

4.1 Unidad de Análisis

La unidad de análisis es la planta de producción de alimentos de INKA CROPS S.R.L., ubicada en el distrito de San Juan de Lurigancho, provincia y departamento de Lima, Perú (coordenadas geográficas: latitud -12.0022° S, longitud -77.0083° W). Esta planta, especializada en la producción de snacks a base de papa, como papalinas, enfrenta un consumo intensivo de agua en los procesos de limpieza (lavado de materia prima para eliminar almidón) y refrigeración (torres de enfriamiento), generando hasta el 70% del volumen de agua como efluentes que actualmente no se reutilizan (Ainia, 2024). El estudio se centra en el diseño, implementación y evaluación de un sistema mecánico-eléctrico para la recuperación y reutilización de agua, compuesto por componentes clave, incluyendo bombas centrífugas, filtros de malla, hidrociclones, sensores de caudal, medidores de energía, variadores de frecuencia (Rockwell PowerFlex 25A-D017N114) y arrancadores suaves (Rockwell SMC-3 150-C3NBD).

El sistema busca recuperar al menos el 70% del agua residual, reducir el consumo de agua fresca en un 25% y disminuir los costos operativos en un 15%, manteniendo una eficiencia operativa superior al 70%. Se evalúan indicadores clave, incluyendo el consumo de agua ($\text{m}^3/\text{día}$), los costos operativos (USD/mes), la eficiencia operativa (% de agua recuperada) y parámetros eléctricos como la corriente nominal (e.g., 10.94 A en bombas de impulsión), la caída de tensión (máximo 4% para circuitos de fuerza, 2.5% para motores) y la ampacidad de los conductores (e.g., 50 mm^2 N2XOH para el tablero ST-MAN 440V). El análisis considera las características específicas del efluente, que contiene sólidos suspendidos, materia orgánica y almidón, así como las condiciones operativas de la planta,

incluyendo la variabilidad estacional en la producción (e.g., picos durante temporadas de alta demanda) y las demandas de agua.

El diseño del sistema prioriza la selección de equipos eficientes y duraderos (e.g., bombas con alta eficiencia hidráulica, hidrociclones optimizados para separación de almidón), la integración con sistemas eléctricos (e.g., variadores para control de velocidad) y la compatibilidad con la infraestructura existente de la planta. El sistema cumple con normativas peruanas, como la Ley de Recursos Hídricos N° 29338, y estándares eléctricos internacionales (e.g., IEC 60898-1 para protecciones termomagnéticas, IEC 60364-5-52 para selección de conductores), asegurando la viabilidad técnica, económica y ambiental. Este enfoque permite determinar la escalabilidad y replicabilidad del sistema en otras plantas de la industria alimentaria peruana, contribuyendo a la gestión sostenible del agua y la competitividad del sector (Hernández-Sampieri et al., 2018).

4.2 Tipo, enfoque, nivel y diseño de Investigación

- a) Tipo de Investigación: Aplicada.
- b) Enfoque: Cuantitativo.
- c) Nivel o alcance: Explicativo.
- d) Diseño de Investigación: Experimental (pretest-posttest).

4.2.1 Tipo de Investigación

Este estudio es de carácter aplicado, ya que se enfoca en el diseño, desarrollo e implementación de un sistema mecánico-eléctrico de recuperación de agua en un entorno industrial real en la planta de INKA CROPS S.R.L. Su propósito es ofrecer una solución práctica y efectiva al problema del desperdicio de agua y los elevados costos operativos, que representan una carga financiera significativa debido al consumo intensivo de agua fresca (hasta cientos de m³/día) y energía en los procesos de limpieza y refrigeración. La investigación busca optimizar la eficiencia operativa mediante la integración de componentes mecánicos y eléctricos diseñados para

maximizar la recuperación de agua, reducir el impacto ambiental mediante la disminución de efluentes y promover la sostenibilidad en las operaciones diarias, alineándose con los principios de la economía circular, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 6) y las normativas ambientales peruanas (Hernández-Sampieri et al., 2018).

4.2.2 Enfoque de la Investigación

El enfoque de la investigación es cuantitativo, dado que se basa en la medición precisa de variables cuantificables, incluyendo el consumo de agua ($\text{m}^3/\text{día}$), la eficiencia operativa (% de agua recuperada), los costos operativos (USD/mes) y parámetros eléctricos esenciales, como la corriente nominal (e.g., 10.94 A para bombas de impulsión), la caída de tensión (máximo 4% para circuitos de fuerza) y la ampacidad de los conductores (e.g., 50 mm^2 N2XOH). Se emplearán indicadores numéricos obtenidos mediante sensores y medidores de alta precisión para evaluar objetivamente el impacto del sistema propuesto. Además, se analizará la relación causal entre la implementación del sistema y las mejoras en el consumo de agua, los costos operativos y la estabilidad operativa, generando resultados claros, medibles y reproducibles que validen la efectividad de la solución y su contribución a la sostenibilidad industrial (Yin, 2018).

4.2.3 Nivel de Investigación

El nivel de investigación es explicativo, ya que no solo describe el consumo de agua, la eficiencia operativa y los costos en la planta, sino que también busca explicar las causas y condiciones que permiten estas mejoras mediante la implementación del sistema mecánico-eléctrico. Se realizarán pruebas controladas en condiciones reales de producción para medir con precisión las variaciones en los indicadores clave antes y después de la intervención, utilizando principios de ingeniería para optimizar el diseño y operación de los componentes (e.g., bombas, hidrociclones). Este enfoque permite identificar las relaciones causales entre el

sistema y los resultados obtenidos, como la reducción del 25% en el consumo de agua fresca, del 15% en los costos operativos y una eficiencia operativa superior al 70%, generando datos confiables que validen el impacto del sistema y su aplicabilidad en contextos industriales similares (Hernández-Sampieri et al., 2018).

4.2.4 Diseño de la Investigación

El diseño de la investigación adopta un enfoque experimental pretest- posttest, fundamental para validar soluciones técnicas en ingeniería. Inicialmente, se medirán el consumo de agua ($\text{m}^3/\text{día}$), los costos operativos (USD/mes), la eficiencia operativa (% de agua recuperada) y parámetros eléctricos (e.g., corriente de 10.94 A, caída de tensión máxima del 4%) antes de la implementación del sistema. Posteriormente, se realizarán mediciones tras su puesta en marcha para comparar los resultados, evaluando objetivamente el impacto del sistema en la optimización de recursos y la reducción de gastos. Este diseño permite una evaluación rigurosa basada en evidencia empírica, asegurando la validez de los resultados y su utilidad para la toma de decisiones en la planta y en futuras aplicaciones industriales, contribuyendo al desarrollo de soluciones sostenibles (Yin, 2018).

4.3 Periodo de Análisis

El periodo de análisis abarca 4 meses, desde enero hasta abril de 2025, estructurado en tres fases diseñadas para garantizar un desarrollo sistemático y una evaluación rigurosa del sistema:

Fase 1: Preparación y Diseño (enero-febrero 2025)

Durante esta etapa, se realizará una revisión exhaustiva de antecedentes científicos (e.g., Serrano, 2017; López, 2008) y técnicos, incluyendo normativas como el Código Nacional de Electricidad (CNE, 2011), IEC 60898-1 (protecciones termomagnéticas), IEC 60364-5-52 (selección de conductores) e IEC 61800-5-1 (variadores de frecuencia), así como documentos de referencia como el IKC Master Plan Eléctrico y el Plano Código CP-24-197 IE-03. Se identificarán tecnologías relevantes, como hidrociclones para separación

de almidón, filtros de malla y sistemas de ultrafiltración, optimizadas para las características del efluente (sólidos suspendidos, materia orgánica, almidón). Se definirán los parámetros técnicos del sistema mecánico-eléctrico, considerando el caudal de agua residual (m^3/h), la calidad del efluente, los requisitos eléctricos (e.g., tensión de 440 V, factor de potencia de 0.8) y el cumplimiento con la Ley de Recursos Hídricos N° 29338. Se elaborarán diagramas unifilares y P&ID detallados para especificar la integración de componentes, asegurando la compatibilidad con la infraestructura existente de la planta.

Fase 2: Desarrollo e Implementación (marzo 2025)

En esta fase, se desarrollará e instalará el sistema en la planta de INKA CROPS S.R.L., integrando componentes mecánicos (bombas centrífugas de alta eficiencia hidráulica, filtros de malla, hidrociclones para separación de almidón) y eléctricos (variadores Rockwell PowerFlex 25A-D017N114 para control de velocidad, arrancadores suaves Rockwell SMC-3 150-C3NBD, protecciones termomagnéticas Schneider GV3P18 para bombas de impulsión y GV2ME10 para bombas y ventiladores de torre de enfriamiento). La configuración eléctrica garantizará una caída de tensión máxima del 4% para circuitos de fuerza y del 2.5% para motores, utilizando conductores de 50 mm^2 N2XOH (según IEC 60228) para el tablero ST-MAN 440V, y cables de 2.5 mm^2 y 1.5 mm^2 N2XOH para bombas y ventiladores, respectivamente. La instalación se realizará en tuberías conduit IMC, cumpliendo con normativas de seguridad (e.g., IEC 60947-2) y facilitando el mantenimiento. Se realizarán pruebas iniciales para verificar la operatividad del sistema bajo condiciones reales de producción, ajustando parámetros mecánicos y eléctricos, como la corriente de arranque y los tiempos de rampa de los arrancadores suaves, para optimizar el desempeño.

Fase 3: Evaluación y Pruebas (abril 2025)

Se llevarán a cabo pruebas experimentales bajo un diseño pretest-posttest para medir el consumo de agua ($\text{m}^3/\text{día}$), la eficiencia operativa (% de agua recuperada), los costos operativos (USD/mes) y parámetros eléctricos (e.g., corriente de 10.94 A, caída de tensión, capacidad térmica). Los resultados se compararán con las mediciones iniciales para validar

las metas de reducción del 25% en consumo de agua fresca, 15% en costos operativos y una eficiencia operativa superior al 70%. Se realizarán pruebas de resistencia de aislamiento y análisis térmicos en los conductores (e.g., 50 mm² N2XOH) y equipos eléctricos (e.g., tablero ST-MAN 440V con interruptor de 3x160A) para garantizar la seguridad y fiabilidad del sistema, ajustando parámetros si es necesario para optimizar el desempeño. Los resultados se documentarán en reportes técnicos y planos actualizados, incluyendo diagramas unifilares y P&ID, para respaldar la viabilidad técnica y económica del sistema.

4.4 Fuentes de Información e Instrumentos Utilizados

4.4.1 Fuentes de Información

Se emplearán fuentes primarias y secundarias para garantizar un análisis robusto, fundamentado y alineado con los estándares académicos y técnicos:

- **Fuentes primarias:**

Datos recolectados directamente en la planta de INKA CROPS S.R.L. mediante sensores de caudal, temperatura y medidores de energía instalados en el sistema de recuperación de agua. Se registrarán parámetros como el consumo de agua (m³/día), la corriente eléctrica (e.g., 10.94 A en bombas de impulsión), el consumo energético (kW) y la caída de tensión (%). Se realizarán pruebas de capacidad térmica y resistencia de aislamiento en los conductores (e.g., 50 mm² N2XOH para el tablero ST-MAN 440V, 2.5 mm² y 1.5 mm² N2XOH para bombas y ventiladores) y equipos eléctricos para verificar su desempeño bajo carga máxima (155.71 A estimada). Estos datos, obtenidos en tiempo real, permiten una evaluación precisa del sistema, la identificación de áreas de mejora y la validación de los objetivos establecidos, como la recuperación del 70% del agua residual y la reducción de costos operativos.

- **Fuentes secundarias:**

Normativas técnicas, como el Código Nacional de Electricidad (CNE, 2011),

IEC 60364-5-52 (selección de conductores), IEC 60898-1 (protecciones termomagnéticas), IEC 60947-2 (interruptores automáticos) e IEC 61800-5-1 (variadores de frecuencia), junto con artículos científicos recientes (e.g., Serrano, 2017; López, 2008) y documentos de referencia, como el IKC Master Plan Eléctrico, el Plano Código CP-24-197 IE-03 y el P&ID del sistema de recuperación de agua. Estas fuentes, obtenidas de bases de datos académicas como Scopus y Web of Science, proporcionan un marco teórico y técnico sólido para fundamentar el diseño, la selección de componentes mecánicos y eléctricos, y las decisiones metodológicas, asegurando la alineación con estándares internacionales y normativas ambientales peruanas (e.g., Ley de Recursos Hídricos N° 29338).

4.4.2 Instrumentos de Recolección de Datos

- **Sensores de Caudal de Agua:**

Dispositivos de alta precisión instalados en puntos clave del sistema de recuperación (e.g., entrada y salida de hidrociclones y filtros de malla) para medir el volumen de agua capturada y reutilizada ($\text{m}^3/\text{día}$). Estos sensores, calibrados para operar en condiciones de alta carga de sólidos y almidón, garantizan datos continuos y precisos, esenciales para evaluar la efectividad del sistema bajo diversas condiciones operativas (e.g., variaciones en el caudal de agua residual debido a picos de producción) y detectar posibles pérdidas, fugas o ineficiencias, asegurando el cumplimiento de la meta de recuperar al menos el 70% del agua residual.

- **Medidores de Energía:**

Instrumentos de ingeniería avanzada para registrar el consumo energético de los equipos del sistema, como bombas de impulsión (6 kW, 10.94 A), bombas de torre de enfriamiento (4 HP) y ventiladores. Estos medidores, compatibles con sistemas trifásicos de 440 V, permiten un análisis comparativo del consumo energético antes y después de la implementación, identificando ahorros (e.g.,

reducción del 15% en costos operativos) y optimizando la eficiencia energética de la planta. Los datos se integrarán con los cálculos eléctricos (e.g., $I = P / (\sqrt{3} * V * FP * \eta)$) para validar el diseño mecánico-eléctrico.

- **Sensores de Flujo y Temperatura:**

Utilizados para monitorear las condiciones operativas del sistema, asegurando estabilidad térmica (e.g., temperatura ambiente de 30 °C) y funcionamiento eficiente en los procesos de limpieza y refrigeración. Estos sensores, diseñados para entornos industriales, permiten ajustes en tiempo real para prevenir fallas (e.g., sobrecalentamiento en bombas), optimizar el desempeño de los equipos y garantizar la calidad del agua recuperada (e.g., libre de sólidos suspendidos y almidón), cumpliendo con los estándares de inocuidad requeridos por la industria alimentaria y las normativas peruanas.

- **Software de Monitoreo y Análisis:**

Herramientas digitales avanzadas, como sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) o software de gestión de datos, para procesar información en tiempo real de sensores y medidores. Este software genera reportes detallados sobre consumo de agua, eficiencia operativa, corriente eléctrica (e.g., 10.94 A) y caída de tensión (e.g., máximo 4% según IEC 60228), utilizando tablas normativas (e.g., Tabla 9.1 para protecciones, Tabla 9.2 para calibres de conductores). Facilita la visualización de resultados, la identificación de tendencias y la toma de decisiones basadas en evidencia, incluyendo la elaboración de diagramas unifilares, P&ID y reportes técnicos actualizados, esenciales para la validación del sistema.

- **Entrevistas y Encuestas:**

Se realizarán entrevistas estructuradas a operarios de la planta y encuestas al personal técnico para recopilar percepciones cualitativas sobre la eficiencia del sistema antes y después de su implementación. Estas herramientas, diseñadas con

preguntas específicas sobre la operación de bombas, filtros y variadores, evaluarán aspectos como la facilidad de uso, el impacto en la productividad, la estabilidad de los procesos y las necesidades de capacitación para operar equipos avanzados (e.g., variadores y arrancadores). Los datos cualitativos complementan los cuantitativos, ofreciendo una visión integral del impacto del sistema en los procesos productivos y su aceptación por parte del personal, asegurando la viabilidad operativa del diseño.

CONCLUSIONES

El desarrollo y diseño de un sistema mecánico para la recuperación de agua en una planta de producción de alimentos constituye una respuesta estratégica y responsable a los desafíos actuales que enfrenta la industria alimentaria en materia de gestión hídrica y sostenibilidad. A lo largo de este trabajo de tesis, se ha evidenciado la importancia de optimizar el uso del agua, un recurso cada vez más escaso y costoso, mediante la implementación de tecnologías que permitan su reutilización eficiente y segura dentro de los procesos productivos.

La investigación permitió identificar los principales retos asociados a la recuperación de agua, como la alta carga de materia orgánica y sólidos presentes en las aguas residuales, la necesidad de integrar sistemas de tratamiento en infraestructuras ya existentes y la variabilidad en la calidad y cantidad de los efluentes generados.

Los beneficios de la recuperación de agua van más allá del ámbito económico. La reducción del impacto ambiental, el cumplimiento de normativas cada vez más estrictas y la mejora de la imagen corporativa son aspectos fundamentales que refuerzan la necesidad de avanzar hacia una producción más limpia y responsable. Además, la disponibilidad de agua recuperada de calidad contribuye a la seguridad alimentaria y a la continuidad operativa, factores clave para la competitividad en mercados nacionales e internacionales.

En síntesis, la implementación de un sistema mecánico para la recuperación de agua en la industria alimentaria no solo responde a una necesidad técnica y ambiental, sino que también representa una oportunidad para innovar, mejorar la eficiencia y fortalecer el compromiso con la sostenibilidad.

RECOMENDACIONES

- Implementar estaciones de filtrado avanzadas para la recuperación de agua. Utilizar tecnologías innovadoras de filtración que permitan recuperar grandes volúmenes de agua limpia a partir de los efluentes, eliminando contaminantes como residuos sólidos, químicos y microorganismos, para reintegrar el agua tratada al proceso productivo, disminuyendo la demanda de agua fresca.
- Monitorear y analizar datos operativos para identificar fugas y pérdidas ocultas. Incorporar sistemas de monitoreo digital que permitan visualizar y diagnosticar puntos críticos de consumo y desperdicio de agua en la planta, facilitando la toma de decisiones informadas para optimizar el uso del recurso y evitar pérdidas innecesarias.
- Diseñar sistemas modulares y adaptables a las condiciones específicas de la planta. Garantizar que el sistema de recuperación pueda ajustarse a variaciones en el volumen y calidad del agua residual, así como a las características particulares de la producción, para asegurar su eficiencia y continuidad operativa.
- Capacitar al personal en operación y mantenimiento de los sistemas de recuperación. Formar a los operadores en el manejo adecuado de los equipos y en la importancia del cuidado del recurso hídrico, asegurando un funcionamiento óptimo y prolongando la vida útil de la infraestructura instalada.
- Realizar un análisis económico detallado para justificar la inversión. Evaluar costos y beneficios asociados a la implementación del sistema, considerando ahorros en consumo de agua, reducción de costos de tratamiento y posibles ingresos por subproductos recuperados, para garantizar la viabilidad financiera del proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Society of Mechanical Engineers. (s.f.). ASME B16.9: Factory-made wrought butt welding fittings. ASME.

American Society for Testing and Materials. (s.f.). ASTM A36: Standard specification for carbon structural steel. ASTM International.

Congreso de la República del Perú. (2009). Ley N° 29338: Ley de Recursos Hídricos. Diario Oficial El Peruano. <https://www.gob.pe/institucion/congreso/normas-legales/29338-29338>

International Electrotechnical Commission. (s.f.). IEC 60898-1: Electrical accessories - Circuit-breakers for overcurrent protection for household and similar installations. IEC.

International Organization for Standardization. (s.f.). ISO 15874: Plastics piping systems for hot and cold water installations - Polypropylene (PP). ISO.

International Organization for Standardization. (s.f.). ISO 15875: Plastics piping systems for hot and cold water installations - Crosslinked polyethylene (PE-X). ISO.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (s.f.). Reglamento Nacional de Edificaciones.

Normas Técnicas Peruanas. (s.f.). Instituto Nacional de Calidad (INACAL).

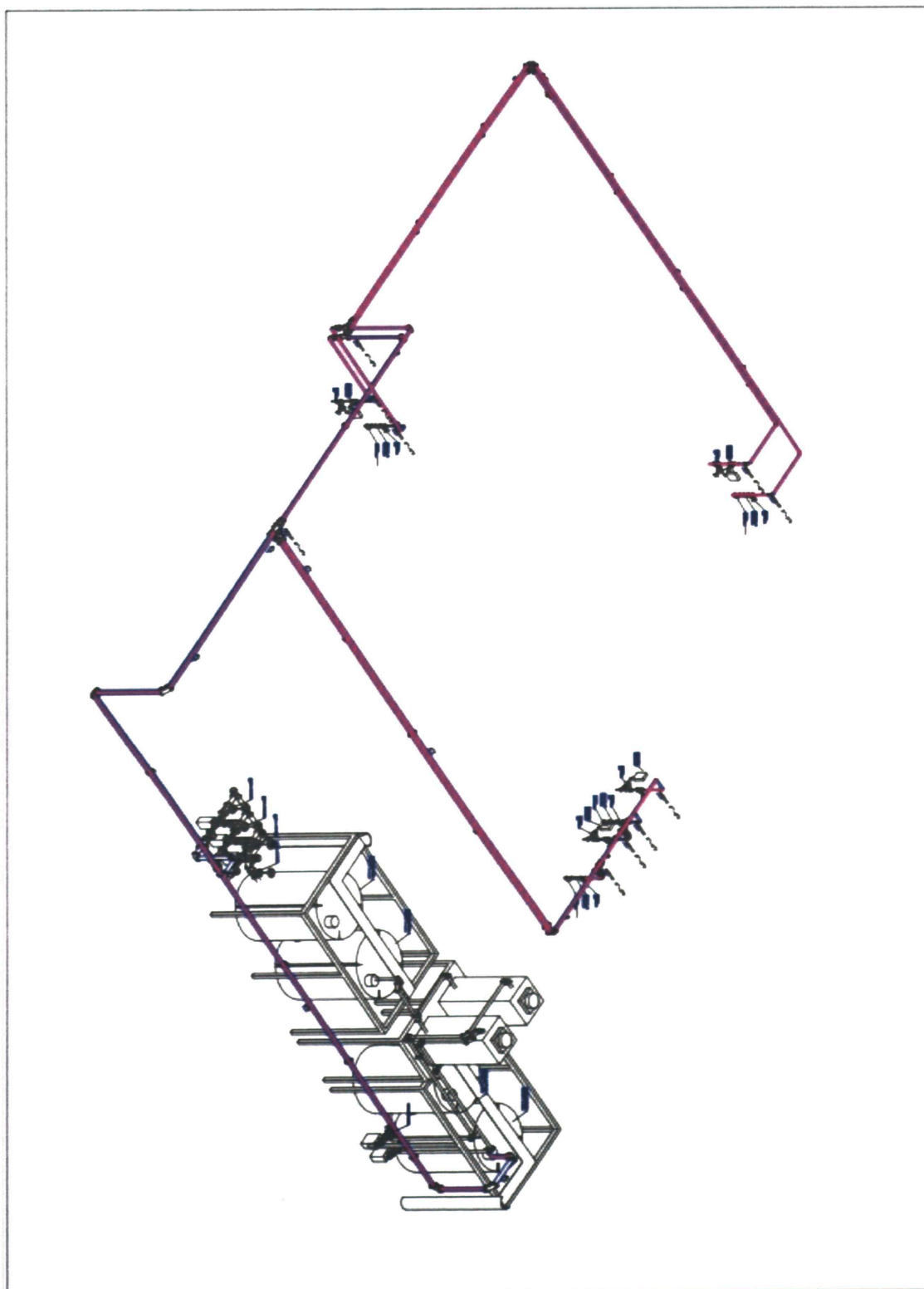
United Nations. (s.f.). Sustainable Development Goal 6: Clean water and sanitation. United Nations. <https://sdgs.un.org/goals/>.

ANEXOS

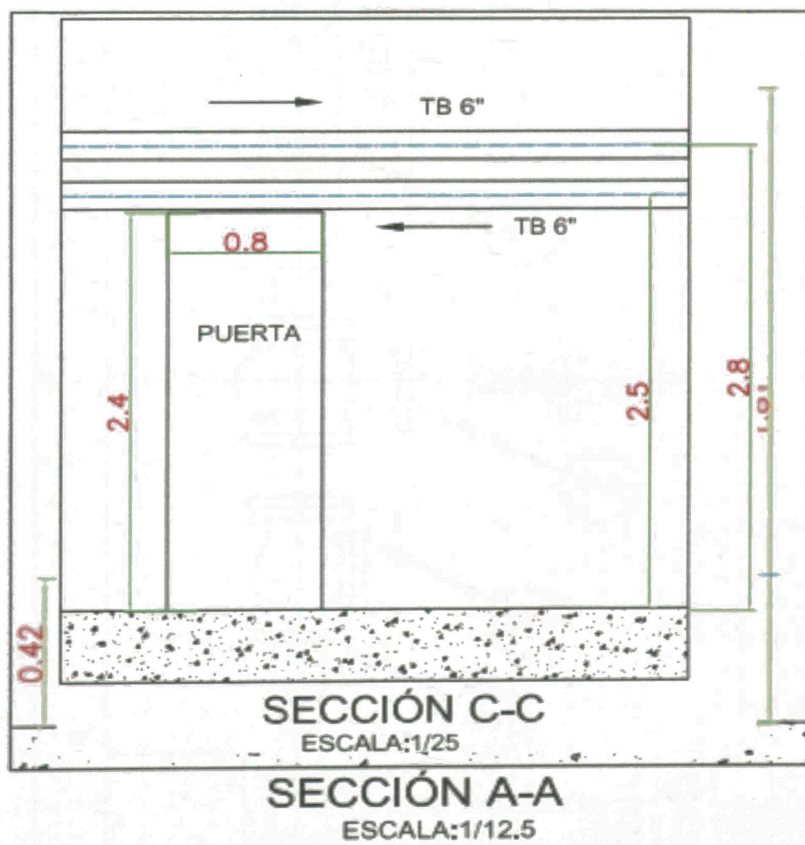
ANEXO 1	DIAGRAMA.....	1
ANEXO 2	SECCIÓN A-A.....	2
ANEXO 3	SECCIÓN B-B.....	3
ANEXO 4	SECCIÓN D-D / /E-E.....	4
ANEXO 5	SECCIÓN F-F	5
ANEXO 6	SECCIÓN G-G / H-H.....	6
ANEXO 7	VISTA DE PLANTA	7
ANEXO 8	DETALLE 1 - 2.....	8

ANEXO 1

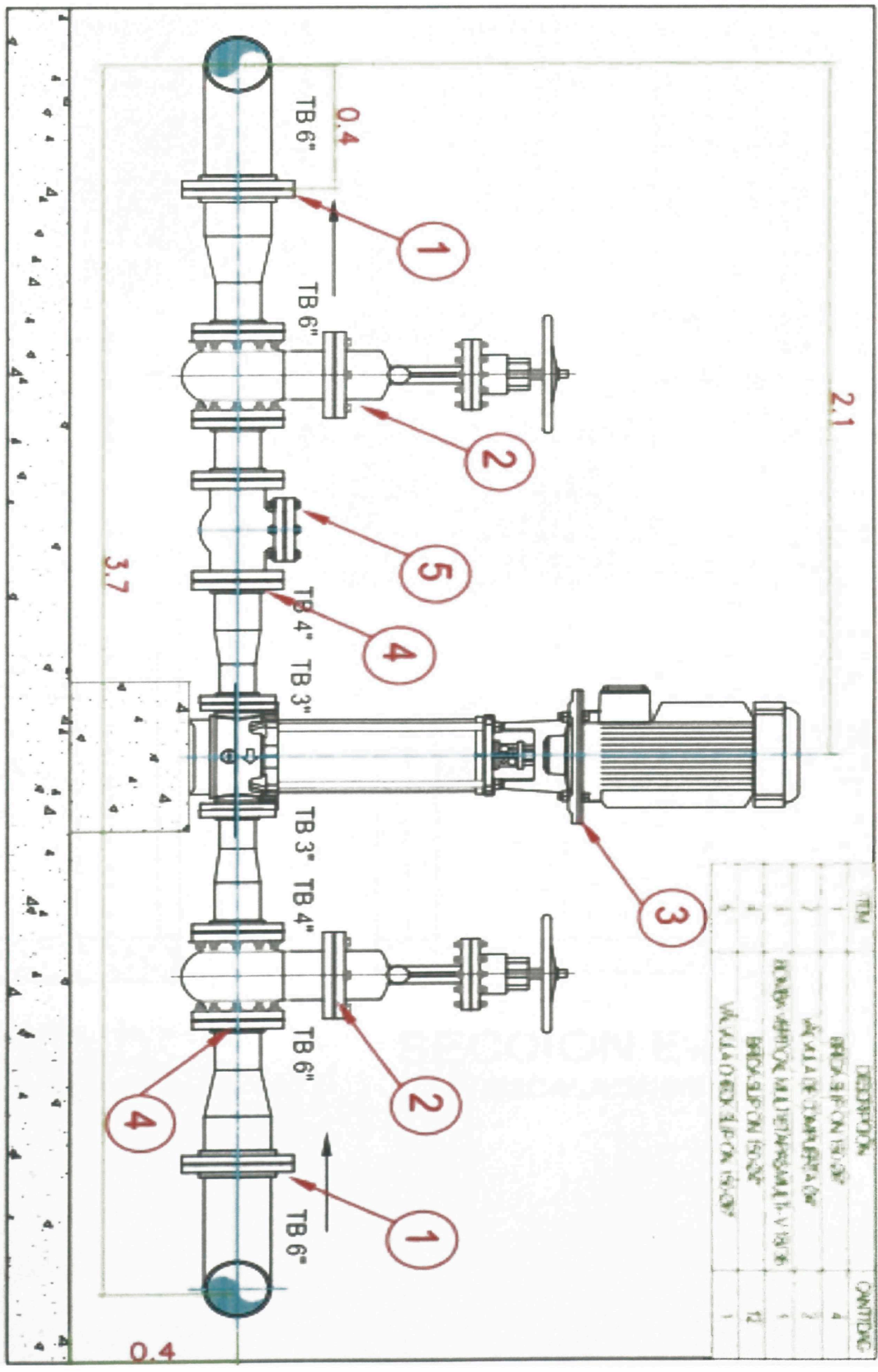
DIAGRAMA



ANEXO 2
SECCIÓN A-A

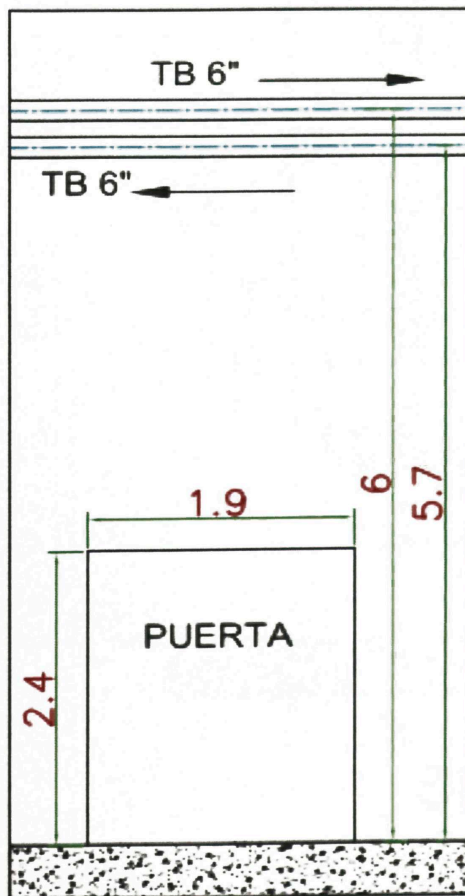


ANEXO 3 SECCIÓN B-B

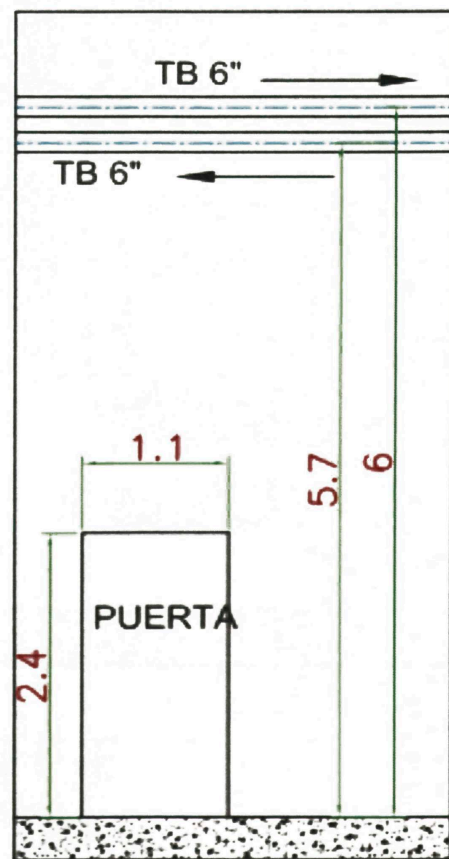


SECCIÓN B-B
ESCALA: 1/12.5

ANEXO 4
SECCIÓN D-D // E-E

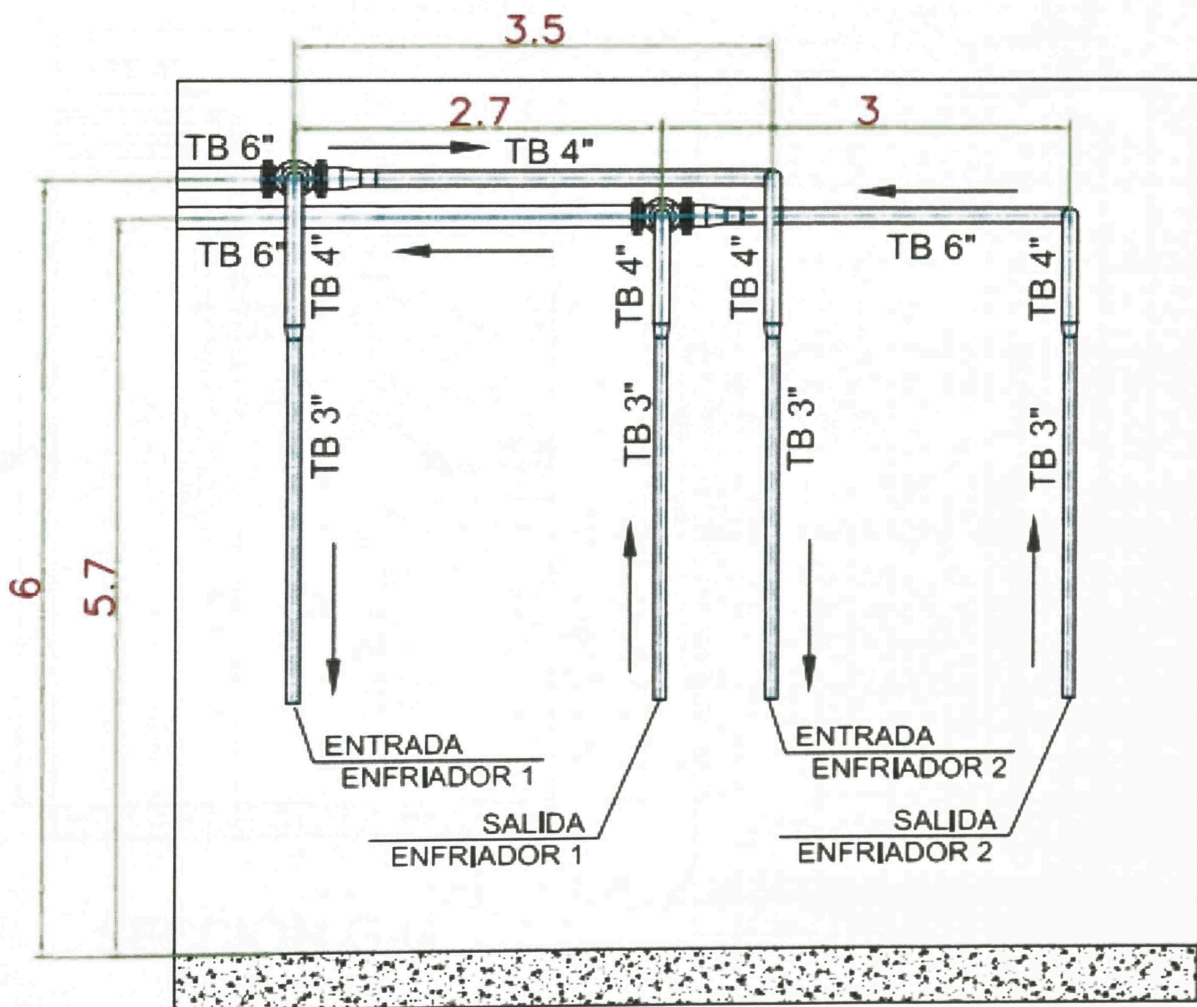


SECCIÓN D-D
ESCALA:1/12.5



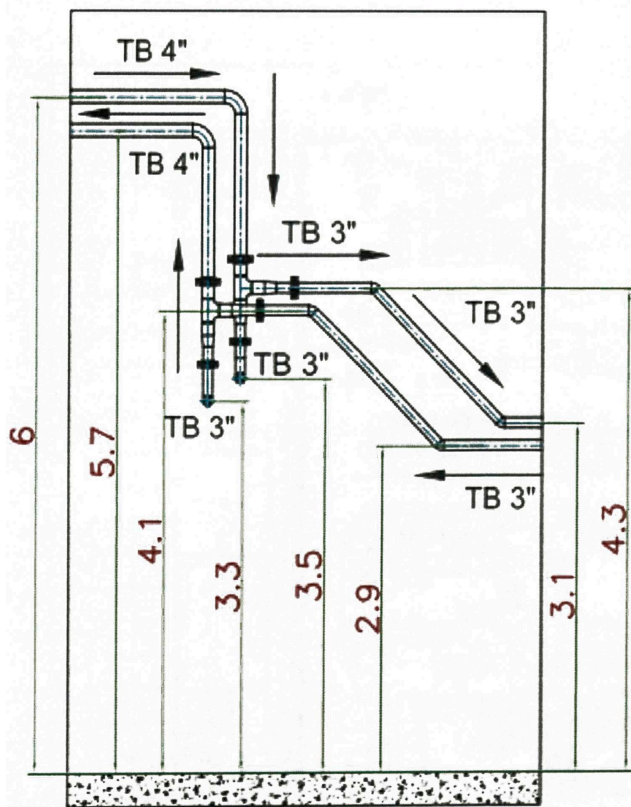
SECCIÓN E-E
ESCALA:1/12.5

ANEXO 5
SECCIÓN F-F

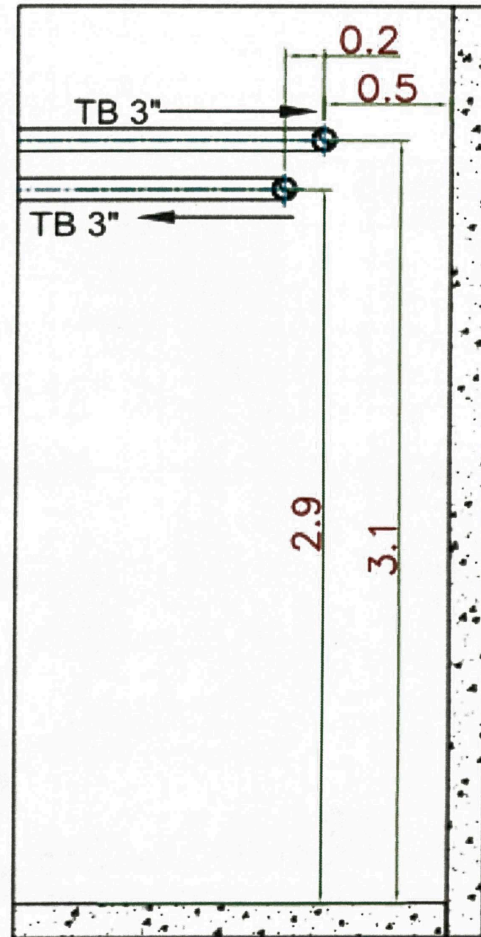


SECCIÓN F-F
ESCALA:1/12.5

ANEXO 6
SECCIÓN G-G / H-H

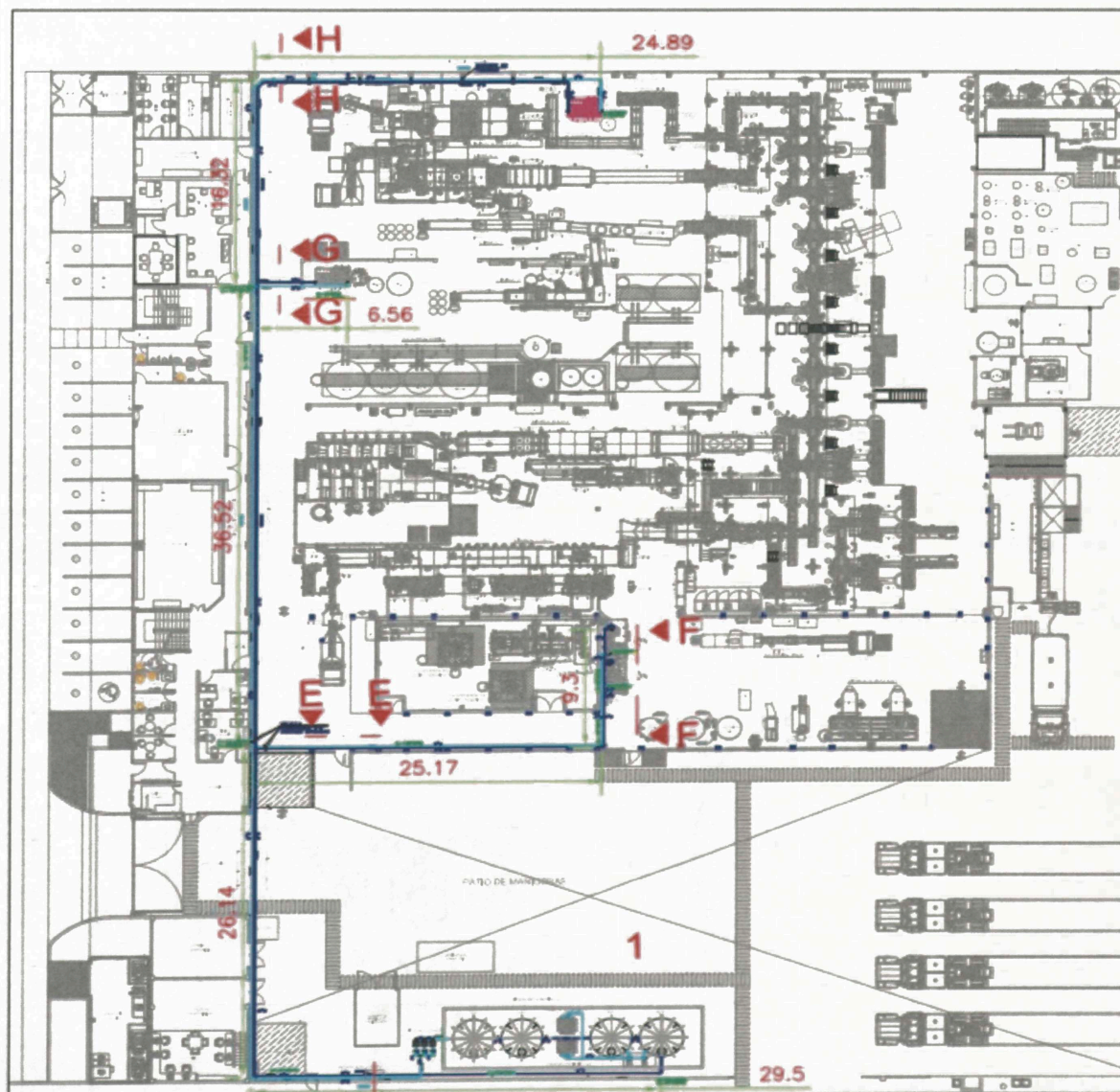


SECCIÓN G-G
ESCALA:1/12.5



SECCIÓN H-H
ESCALA:1/25

ANEXO 7
VISTA DE PLANTA



VISTA DE PLANTA
ESCALA 1:1000

ANEXO 8
DETALLE 1 - 2

