



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Optimización del proceso de reposición de agua blanda para los sistemas de enfriamiento de las líneas de producción de la planta de soldadura de la Empresa Ciudad del Auto Cía. Ltda. Ambato

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERA INDUSTRIAL**

AUTOR:

Ichina Muquinche Dayana Paola

TUTOR:

Ing. Jonathan Alexander Ruiz Carrillo

LATACUNGA, AGOSTO 2026

Latacunga, agosto del 2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo Ichina Muquinche Dayana Paola, con cedula de ciudadanía No. 1850800218 declaro ser autor del proyecto de titulación: “Optimización del proceso de reposición de agua blanda para los sistemas de enfriamiento de las líneas de producción de la planta de soldadura de la Empresa Ciudad del Auto Cía. Ltda. Ambato”, siendo el Ing. Jonathan Alexander Ruiz Carrillo tutor del presente trabajo de titulación; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo de titulación, son de mi exclusiva responsabilidad.



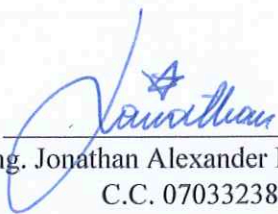
Ichina Muquinche Dayana Paola
CC. 1850800218

Latacunga, agosto del 2026

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE REPOSICIÓN DE AGUA BLANDA PARA LOS SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO DE LAS LÍNEAS DE PRODUCCIÓN DE LA PLANTA DE SOLDADURA DE LA EMPRESA CIUDAD DEL AUTO CÍA. LTDA. AMBATO”, de Ichina Muquinche Dayana Paola, de la Carrera de Ingeniería Industrial, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.



Ing. Jonathan Alexander Ruiz Carrillo
C.C. 0703323824

TUTOR

Latacunga, agosto 2026

AVAL DE APROBACIÓN DE LECTORES

Cumpliendo con el Reglamento de Titulación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en calidad de Lectores de Tribunal de Proyecto de Investigación con el Título **“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE REPOSICIÓN DE AGUA BLANDA PARA LOS SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO DE LAS LÍNEAS DE PRODUCCIÓN DE LA PLANTA DE SOLDADURA DE LA EMPRESA CIUDAD DEL AUTO CÍA. LTDA. AMBATO”** propuesta por la estudiante Ichina Muquinche Dayana Paola, de la Carrera de Ingeniería Industrial, me permito indicar que la estudiante ha concluido con todas las observaciones y ha realizado las correcciones señaladas por el Tribunal de Lectores, por lo cual presentamos el Aval de aprobación del Proyecto de Titulación correspondiente a la modalidad **Proyecto de Investigación** en virtud de lo cual la postulante puede presentarse a la Defensa de su Proyecto de Titulación.

Particular que pongo en su conocimiento para los fines legales pertinentes.

Atentamente,



Lector 1 (Presidente)

Ing. José Ezequiel Naranjo Robalino MSc.
CC:1804710463



Lector 2

Ing. Ángel Guillermo Hidalgo Oñate
CC: 0503257404



Lector 3

Ing. Cristian Iván Eugenio Pilliza.
CC: 1723727473

Ambato, 13 de agosto de 2026

CERTIFICADO

Mediante la presente pongo a consideración que, la señorita DAYANA PAOLA ICHINA MUQUINCHE con CI 1850800218 realiza la entrega del Proyecto de Titulación denominado **“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE REPOSICIÓN DE AGUA BLANDA PARA LOS SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO DE LAS LINEAS DE PRODUCCIÓN DE LA PLANTA DE SOLDADURA DE LA EMPRESA CIUDAD DEL AUTO CIA LTDA AMBATO.”**, por lo cual se emite el presente certificado.

Recibiendo a conformidad toda la documentación correspondiente, misma que es de valiosa ayuda para mejorar nuestros procesos productivos.

La Srta. Puede hacer uso del documento, como estime necesario.

Atentamente:



CIAUTO
CIA LTDA.

.....
Ing. Miguel Ángel Taipe

Coordinador de Mantenimiento

C.I.: 1715636211

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a Dios por ser mi guía permanente, mi fortaleza en los momentos difíciles y la luz que ha iluminado cada paso de este proceso.

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que han sido parte de este camino académico y personal.

A mi familia, por su respaldo incondicional y su fe en mis capacidades. A Mario Ichina, por ser un modelo de esfuerzo, perseverancia y compromiso. A Paulina Muquinche, por su amor, su apoyo inquebrantable y por enseñarme que con dedicación y determinación se pueden superar todas las adversidades. A mi querida hermana, por su cariño, apoyo y por ser una fuente constante de motivación.

A mi tutor de tesis, por compartir su conocimiento y experiencia, por inspirarme a buscar la excelencia y por brindarme las herramientas necesarias para afrontar los desafíos del mundo profesional. A todos, mi más sincero agradecimiento.

Dayana Paola

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo de titulación a mi familia, el pilar fundamental de mi vida. A Mario Ichina, mi padre y quien ha sido mi guía y ejemplo de integridad y perseverancia. Su apoyo incondicional y sus enseñanzas han sido claves en mi formación. A Paulina Muquinche, mi madre, por su amor infinito, su paciencia y su incansable esfuerzo, que me han impulsado a superar cada obstáculo con determinación. A mi hermana, compañera de vida y cómplice en este camino, cuyo apoyo, cariño y palabras de aliento han sido una fuente constante de motivación. A mi angelito que está en el cielo, mi querido abuelito Ángel Ichina, quien, aunque ya no se encuentre físicamente a mi lado, permanece presente en mi corazón y en cada uno de mis logros. A mis queridos sobrinos, Renatha y Mathias, quienes con su alegría, cariño e inocencia han llenado mi vida de momentos especiales.

A todas aquellas personas que de una u otra manera, han formado parte de este proceso, dejando una huella en mi crecimiento personal y profesional.

Dayana Paola

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	iii
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA.....	vi
1. INFORMACIÓN GENERAL	17
2. INTRODUCCIÓN	18
2.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	20
2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	21
2.3 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN.....	22
2.3.1 Objeto de Investigación:.....	22
2.3.2 Campo de Acción:	22
2.4 BENEFICIARIOS	22
2.4.1 Directos.....	22
2.4.2 Indirectos	23
2.5 JUSTIFICACIÓN	23
2.5.1 Justificación	23
2.6 OBJETIVOS	24
2.6.1 Objetivo General.....	24
2.6.2 Objetivos específicos.....	24
2.6.3 Sistemas de tareas	24
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	26
3.1 INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA.....	26
3.1.1 Métodos científicos de investigación	26
3.2 SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO INDUSTRIAL	26
3.2.1 Sistemas de enfriamiento para los procesos de soldadura.....	27
3.2.1.1 Enfriamiento de las electropunteadoras	27
3.2.1.2 Enfriamiento en la soldadura de punto.....	27
3.3 SISTEMA DE BOMBEO.....	27
3.3.1 Tipos de sistemas de bombeo	27
3.3.2 Equipos de sistemas de control de bombeo	28
3.4 DIMENSIONAMIENTO DE LOS TANQUES DE ENFRIAMIENTO	29

3.4.1	Volumen de un tanque rectangular.....	29
3.5	DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA BLANDA.....	29
3.5.1.1	Volumen de un recipiente cilíndrico	29
3.6	AGUA BLANDA EN PROCESOS INDUSTRIALES.....	30
3.6.1	Definición de agua blanda.	30
3.6.2	Diferencias entre agua dura y agua blanda.....	30
3.6.3	Ventajas del uso de agua blanda en sistemas de enfriamiento	31
3.7	TRATAMIENTO Y REPOSICIÓN DE AGUA BLANDA	31
3.7.1	Métodos de ablandamiento del agua	31
3.7.2	Proceso de reposición de agua en sistemas de enfriamiento	32
3.7.3	Importancia de la reposición continua y controlada.....	32
3.8	REDES HIDRÁULICAS INDUSTRIALES.....	32
3.8.1	Concepto de redes hidráulicas	32
3.8.2	Clasificación de los fluidos	33
3.9	TUBERÍAS Y VÁLVULAS	33
3.9.1	Tuberías	33
3.9.2	Clasificación de Tuberías	33
3.9.2.1	Según el Material de Fabricación.....	33
3.9.3	Pérdida de carga por fricción.....	34
3.9.3.1	Pérdidas de carga menores	34
3.9.3.2	Pérdidas de carga mayores y menores.....	35
3.9.4	Válvulas.....	36
3.9.4.1	Tipos de válvulas industriales	36
3.10	BOMBAS HIDRÁULICAS	36
3.10.1	Definición de bomba hidráulica	36
3.10.2	Jerarquización de criterios de selección	37
3.10.3	Tipos de bombas utilizadas en sistemas de enfriamiento	37
3.10.4	Parámetros básicos de operación.....	38
3.10.4.1	Altura manométrica total.....	38
3.10.4.2	Presión hidráulica.....	38
3.10.4.3	Potencia del motor.....	38
3.10.4.4	Potencia hidráulica	39

3.10.5	Caudal.....	39
3.10.5.1	Área de la sección transversal	40
3.10.5.2	Velocidad del fluido	40
3.10.5.3	Tiempo de reposición	41
3.11	Parámetros térmicos	41
3.11.1	Diferencia de tiempos	41
3.12	MARCO LEGAL Y NORMATIVO	41
3.12.1	Normas técnicas aplicables a sistemas hidráulicos.....	42
3.12.2	Normativa de seguridad industrial.....	42
3.13	EVALUACIÓN ENERGÉTICA Y ECONÓMICA DEL SISTEMA.....	43
3.13.1	Consumo de energía	43
3.13.2	Costo de energía	43
3.13.3	Costo anual	43
3.13.4	Relación costo-beneficio	44
3.13.5	Periodo de recuperación de la inversión.....	44
4.	MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS	44
4.1	MODALIDAD O ENFOQUE DE LA PROPUESTA	44
4.2	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	45
4.3	FASES DE APLICACIÓN.....	46
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	50
5.1	PRIMER OBJETIVO ESPECÍFICO.....	50
5.1.1	Levantamiento de información sobre parámetros de operación	50
5.1.1.1	Mapa de procesos de la empresa	50
5.1.1.2	Diagrama de flujo del proceso actual	52
5.1.2	Dimensiones geométricas de los tanques de enfriamiento	53
5.1.2.1	Cálculo de la capacidad de los tanques de enfriamiento	53
5.1.3	Dimensiones geométricas del tanque de almacenamiento	53
5.1.3.1	Cálculo de la capacidad del tanque de almacenamiento de agua blanda	54
5.1.4	Frecuencia de reposición	54
5.1.4.1	Ajuste por temperatura ambiente	55
5.1.5	Cursograma analítico del proceso actual	55
5.1.6	Recursos técnicos internos	57

5.1.6.1	Recursos técnicos externos.....	57
5.1.7	Análisis del proceso mediante Diagrama Hombre-Máquina	57
5.1.8	Ficha de Operaciones del Producto y Proceso	59
5.1.9	Descripción de las operaciones del proceso de reposición de agua blanda.....	60
5.1.10	Costos Operativos del Proceso actual.....	61
5.1.10.1	Costos asociados al uso tanquero interno.....	61
5.1.10.2	Costo de mano de obra por reposición	62
5.1.10.3	Costos de mantenimiento del proceso actual	64
5.1.10.4	Costo anual de operación.	64
5.1.11	Identificación de limitaciones del sistema actual	64
5.1.11.1	Limitaciones técnicas	64
5.1.11.2	Limitaciones operativas.....	65
5.1.11.3	Limitaciones logísticas.....	66
5.2	DISEÑO DE UNA PROPUESTA DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO	66
5.2.1	Diagrama de flujo del proceso actual	66
5.2.2	Jerarquización de criterios de selección de la bomba.....	67
5.2.2.1	Selección de la bomba centrífuga.....	69
5.2.2.2	Elementos del sistema de bombeo	70
5.2.3	Elementos utilizados para la optimización del sistema de eléctrico.....	71
5.2.3.1	Sistema de control	71
5.2.4	Diagrama P&ID del sistema propuesto para la reposición de agua blanda.....	72
5.2.5	Tuberías	74
5.2.5.1	Jerarquización de criterios de selección de la bomba	74
5.2.5.2	Caudal de la tubería.....	76
5.2.1	Cálculo de altura manométrica total para el sistema	78
5.2.2	Presión de la bomba.....	81
5.2.3	Potencia del motor	82
5.2.4	Potencia hidráulica	82
5.2.5	Tiempo de reposición automatizado.....	83
5.2.6	Diagrama de simulación en Cade Simu.....	83
5.3	TERCER OBJETIVO ESPECÍFICO	85

5.3.1	Cursograma analítico propuesto	85
5.3.2	Evaluación del tiempo de reposición del sistema actual y propuesto.....	86
5.3.3	Diagrama comparativo del tiempo de reposición	86
5.3.4	Cálculo del Costo Total del Sistema Optimizado.....	87
5.3.5	Análisis Costo-Beneficio	89
5.3.5.1	Relación beneficio/costo	91
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	93
6.1	Conclusiones.....	93
6.2	Recomendaciones	95
7.	BIBLIOGRAFÍA	96

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Modalidad de Titulación.....	17
Tabla 1.2	Campos de la Ciencia y Tecnología Conocimientos UNESCO.....	17
Tabla 2.1	Áreas de conocimiento UNESCO	22
Tabla 2.2	Beneficiarios directos	22
Tabla 2.3	Beneficiarios indirectos	23
Tabla 2.4	Sistema de tareas	25
Tabla 3.1	Métodos científicos de investigación	26
Tabla 3.2	Equipos del sistema de control de bombeo	28
Tabla 3.3	Comparación de las principales características del agua dura y el agua blanda...31	
Tabla 3.4	Beneficios del uso de agua blanda en sistemas de enfriamiento	31
Tabla 3.5	Clasificación del fluido y color de identificación.....	33
Tabla 3.6	Clasificación de las pérdidas de carga en sistemas de tuberías.	35
Tabla 3.7	Tipos de válvulas	36
Tabla 3.8	Matriz de ponderación de criterios de selección	37
Tabla 3.9	Tipos de bombas	37
Tabla 5.1	Características y capacidades de los tanques de almacenamiento.....	54
Tabla 5.2	Registros de producción y control de reposición.....	55

Tabla 5.3	Variación del consumo diario de agua según la temperatura ambiente.	55
Tabla 5.4	Recursos técnicos internos del sistema actual de reposición de agua blanda.....	57
Tabla 5.5	Recursos técnicos externos utilizados	57
Tabla 5.6	Costos anuales de consumo de combustible para el mes de julio 2026	62
Tabla 5.7	Tiempo total empleado en el llenado manual.....	62
Tabla 5.8	Cálculo del valor de la hora-hombre	63
Tabla 5.9	Costo de mano de obra por llenado.	63
Tabla 5.10	Costo anual de mano de obra.....	64
Tabla 5.11	Costo anual de operación manualmente.	64
Tabla 5.12	Análisis de las principales limitaciones técnicas	65
Tabla 5.13	Limitaciones operativas del sistema actual.	65
Tabla 5.14	Limitaciones logísticas del sistema actual.....	66
Tabla 5.15	Alternativas de bombas consideradas.....	67
Tabla 5.16	Cálculos para la Bomba A	68
Tabla 5.17	Cálculos para la Bomba B	68
Tabla 5.18	Cálculos para la Bomba C	69
Tabla 5.19	Matriz de ponderación para la selección de la bomba.....	69
Tabla 5.20	Características de la bomba centrífuga.....	70
Tabla 5.21	Características técnicas de la bomba seleccionada.....	70
Tabla 5.22	Clasificación de las válvulas utilizadas en el sistema de reposición.	71
Tabla 5.23	Especificaciones técnicas de tuberías PVC para el sistema de reposición	71
Tabla 5.24	Elementos del tablero de control para el sistema propuesto.....	72
Tabla 5.25	Alternativas de bombas consideradas.....	74
Tabla 5.26	Cálculo para PVC SCH 40	74
Tabla 5.27	Cálculos para acero galvanizado	75
Tabla 5.28	Cálculos para tubería HDPE.....	75
Tabla 5.29	Matriz de ponderación para la selección de tuberías.....	76

Tabla 5.30	Selección de tuberías del sistema de reposición automatizada.....	76
Tabla 5.31	Datos del sistema principales del sistema.	77
Tabla 5.32	Datos del sistema de reposición	79
Tabla 5.33	Datos utilizados para el cálculo de la presión de la bomba.	81
Tabla 5.34	Tiempos de reposición del sistema.....	86
Tabla 5.35	Consumo de energía y costo anual de operación del sistema de llenado.	88
Tabla 5.36	Comparación costos anuales del sistema actual y automatizado (2-5 años)	89
Tabla 5.37	Inversión de la propuesta de implementación	90
Tabla 5.38	Beneficios de costos del 1 año.....	90
Tabla 5.39	Beneficios de costos para 2-5 años.....	91

INDICE DE FIGURAS

Figura 3.1	Representación de las dimensiones de un recipiente rectangular.....	29
Figura 3.2	Representación geométrica de un tanque cilíndrico	30
Figura 4.1	Fases para el desarrollo del trabajo.....	49
Figura 5.1	Mapa de procesos de la empresa	51
Figura 5.2	Diagrama de flujo del proceso actual con tiempos identificados.	52
Figura 5.3	Dimensiones geométricas para los tanques de enfriamiento.	53
Figura 5.4	Dimensiones geométricas del tanque principal de almacenamiento de agua.....	53
Figura 5.5	Cursograma analítico del proceso actual.	56
Figura 5.6	Diagrama Hombre-Máquina.....	58
Figura 5.7	Proceso manual de suministro de agua blanda	59
Figura 5.8	Caracterización del proceso de reposición de agua blanda	60
Figura 5.9	Descripción de operaciones	61
Figura 5.10	Diagrama de flujo del proceso actual	67
Figura 5.11	Tablero de control del sistema automatizado de bombeo.....	71
Figura 5.12	Plano de implementación del sistema de reposición de agua blanda	73
Figura 5.13	Diagrama del circuito de potencia y circuito de control del sistema.....	84

Figura 5.14	Cursograma analítico propuesto	85
Figura 5.15	Comparación del tiempo de reposición del sistema actual y propuesto	87
Figura 5.16	Comparación de costos anuales del sistema actual e implementación.....	89
Figura 5.17	Relación costo-beneficio	92

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI FACULTAD DE CIENCIAS DE LA
INGENIERÍA Y APLICADAS**

TITULO: OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE REPOSICIÓN DE AGUA BLANDA
PARA LOS SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO DE LAS LÍNEAS DE PRODUCCIÓN
DE LA PLANTA DE SOLDADURA DE LA EMPRESA CIUDAD DEL AUTO CÍA.
LTDA AMBATO.”

Autora: Ichina Muquinche Dayana Paola

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo optimizar el proceso de reposición de agua blanda utilizada en el sistema de enfriamiento de las líneas de producción de la planta de soldadura de la empresa Ciudad del Auto Cía. Ltda., ubicada en Ambato. Actualmente, la reposición de agua blanda se realiza mediante un proceso manual que depende del uso de tanqueros internos y externos. El abastecimiento se efectúa aproximadamente cada quince días y no dispone de un sistema de control automático del nivel de los tanques. Esta situación genera tiempos prolongados de reposición, dependencia del personal operativo y limitaciones logísticas asociadas al traslado y abastecimiento del recurso, evidenciando la necesidad de mejorar el proceso mediante la automatización de la línea de enfriamiento. Para abordar esta problemática, se realizó un diagnóstico del proceso actual mediante observación directa, levantamiento de información técnica, registro de tiempos operativos. Posteriormente, se diseñó una propuesta de automatización mediante un sistema de bombeo. Finalmente, la evaluación económica de la propuesta determinó que la implementación del sistema automatizado resulta viable para la empresa, considerando una inversión inicial de USD 4.400,00, un beneficio anual estimado de USD 2.825,83 y una relación beneficio/costo de 2,47. Asimismo, el período de recuperación de la inversión se estima en aproximadamente 1 año y 5 meses, lo que demuestra que la propuesta puede generar beneficios económicos y contribuir a la reducción de los costos asociados al proceso actual de reposición de agua blanda.

Palabras clave: Agua blanda, Automatización de la línea de enfriamiento, Proceso de soldadura, Sistema de enfriamiento, Sistema de bombeo.

**TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI ENGINEERING AND APPLIED
SCIENCES SCHOOL**

TITLE: OPTIMIZATION OF THE SOFT WATER REPLACEMENT PROCESS FOR
THE COOLING SYSTEMS OF THE PRODUCTION LINES OF THE WELDING
PLANT OF CIUDAD DEL AUTO CÍA. LTDA. AMBATO.

Author: Ichina Muquinche Dayana Paola

ABSTRACT

This research aims to optimize the soft water replenishment process used in the cooling system of the production lines at the welding plant of Ciudad del Auto Cía. Ltda., located in Ambato. Currently, soft water replenishment is carried out manually, relying on internal and external water tankers. Replenishment occurs approximately every two weeks and lacks an automatic tank level control system. This situation results in prolonged replenishment times, dependence on operational personnel, and logistical limitations associated with the transport and supply of the resource, highlighting the need to improve the process through the automation of the cooling line. To address this problem, a diagnostic assessment of the current process was conducted through direct observation, gathering of technical information, and recording of operating times. Subsequently, an automation proposal using a pumping system was designed. Finally, the economic evaluation of the proposal determined that the implementation of the automated system is viable for the company, considering an initial investment of USD 4,400.00, an estimated annual benefit of USD 2,825.83, and a benefit/cost ratio of 2.47. Furthermore, the investment recovery period is estimated at approximately 1 year and 5 months, demonstrating that the proposal can generate economic benefits and contribute to reducing the costs associated with the current soft water replenishment process.

Keywords: Soft water, Cooling line automation, Welding process, Cooling system, Pumping system.

1. INFORMACIÓN GENERAL

Tema del proyecto: Optimización del proceso de reposición de agua blanda para los sistemas de enfriamiento de las líneas de producción de la planta de soldadura de la empresa Ciudad Del Auto Cía. Ltda. Ambato.

Modalidad de Titulación:

Tabla 1.1 Modalidad de Titulación

MODALIDAD DE TITULACIÓN	HOMOLOGACIÓN PARA INFORME FINAL DE TITULACIÓN	SELECCIÓN
Proyecto de investigación	Informe de Proyecto de investigación	X

Carrera: Ingeniería en Industrial

Trabajo de Titulación Vinculado al Proyecto:

Diseño de una planta de tratamiento integral de desechos industriales y domésticos para la obtención de insumos y productos de valor agregado.

Equipo de Trabajo de Titulación:

Estudiante: Ichina Muquinche Dayana Paola

Tutor de Titulación: Ing. Jonathan Alexander Ruiz Carrillo

Área de Conocimiento:

Tabla 1.2 Campos de la Ciencia y Tecnología Conocimientos UNESCO

07 Ingeniería, Industria y Construcción	071 Ingeniería y Profesiones Afines	0714 Electrónica y Automatización
---	---	--------------------------------------

Línea de investigación: Tecnología industrial, gestión de la producción, riesgos y seguridad laboral.

Sub líneas de investigación de la Carrera: Sistemas integrados de producción y operaciones industriales para el desarrollo sostenible. Innovación tecnológica de los sistemas productivos.

2. INTRODUCCIÓN

En el contexto de la industria ensambladora de vehículos en Ecuador, la eficiencia de los procesos de manufactura constituye un elemento clave y sostenible en las empresas. Los sistemas de enfriamiento industrial cumplen un papel fundamental en las plantas de soldadura, ya que regulan la temperatura de equipos críticos y sistemas de control eléctrico. En entornos de manufactura de alta exigencia, como las plantas de soldadura automotriz, un suministro irregular o deficiente de agua blanda puede derivar un sobrecalentamiento de los equipos, desgaste de los componentes y pérdidas económicas para la organización [1].

El agua blanda, definida como aquella cuya concentración de iones de calcio y magnesio ha sido reducida mediante procesos de intercambio iónico hasta niveles inferiores a 5ppm de dureza como carbonato de calcio (CaCO_3), representa el insumo indispensable para los circuitos de enfriamiento de alta precisión en procesos de soldadura industrial [2]. La presencia de altos niveles de dureza en el agua de enfriamiento favorece la formación de sedimentos en los intercambiadores de calor. Esta acumulación de depósitos minerales disminuye la eficiencia en la transferencia térmica, aumenta el consumo energético del sistema y genera fallas en los equipos. Según estudios realizados en el sector automotriz, las incrustaciones por depósitos minerales pueden incrementar la rigidez térmica de los intercambiadores hasta en un 20%, con el aumento en el consumo energético del sistema [3].

Diversas investigaciones recientes han abordado problemáticas similares a la presente. Según el estudio [4] desarrollaron un modelo matemático para la mejora del consumo energético y del consumo de agua en torres de enfriamiento de circuito cerrado en empresas metalúrgicas boliviana, demostrando que ajustes en el control del ciclo de control permiten reducir significativamente el consumo de recursos y mejorar la eficiencia del sistema. Según [5] diseñaron un sistema de ablandamiento de agua por intercambio iónico para calderos industriales en Perú, estableciendo que la programación técnica de los ciclos de regeneración retro lavado, regeneración con salmuera y enjuague, garantiza la calidad constante del agua tratada y reduce el consumo de sal.

En el ámbito de la eficiencia energética, según [6] evaluó en su tesis doctoral la mejora del rendimiento de sistemas de climatización mediante enfriamiento evaporativo, subrayando la importancia de caracterizar el comportamiento térmico real del sistema antes de proponer mejoras, enfoque que se adopta también en el presente trabajo a través del diagnóstico de campo. Finalmente, como se evidencia en la investigación [7] analizaron estrategias de optimización en

sistemas de refrigeración de máquinas eléctricas, confirmando que la integración del mantenimiento predictivo y la gestión energética de los equipos de circulación son componentes esenciales de cualquier propuesta de mejora integral.

El Ecuador cuenta con una industria de ensamblaje vehicular de relevancia regional, integrada por empresas que han apostado por desarrollar infraestructura productiva de alto nivel técnico. En este contexto, la Empresa Ciudad del Auto Cía. Ltda. se ha consolidado como uno de los referentes más importantes del sector automotriz nacional. Fundada el 10 de febrero de 2013 y ubicada en el sector de Unamuncho, a 20 kilómetros al norte de la ciudad de Ambato, provincia de Tungurahua, fue la primera ensambladora de vehículos establecida fuera de la ciudad de Quito, constituyéndose en un polo industrial estratégico para el centro del Ecuador. La empresa es 100% ecuatoriana, perteneciente al Grupo Ambacar, conglomerado con más de 55 años de trayectoria en la comercialización de vehículos en el mercado nacional, y opera bajo la modalidad CKD (Complete Knock Down), ensamblando vehículos íntegramente a partir de componentes importados en estado completamente desarmado [8].

A lo largo de su trayectoria, la ensambladora ha acumulado una inversión superior a los 80 millones de dólares en infraestructura, maquinaria y tecnología, convirtiéndose en la empresa con el mayor porcentaje de componente nacional incorporado en el país, el cual supera actualmente el 20%, el índice más alto registrado en la historia de la industria ensambladora ecuatoriana. Trabaja de manera articulada con 25 firmas autopartistas nacionales que proveen componentes como baldes de camionetas, asientos, llantas, baterías, arneses eléctricos y vidrios, entre otros insumos. La planta genera más de 400 empleos directos y aproximadamente 2.300 empleos indirectos, con una capacidad instalada de producción de hasta 1.000 vehículos mensuales, habiendo ensablado más de 40.000 unidades desde su fundación, con presencia exportadora en mercados como Colombia y Costa Rica [9].

El portafolio de productos de la ensambladora abarca un amplio espectro del mercado automotriz ecuatoriano, cubriendo segmentos que van desde vehículos de trabajo y carga liviana hasta automóviles de pasajeros y vehículos utilitarios de uso mixto. Entre los modelos ensablados actualmente en sus instalaciones se encuentran la camioneta GWM POER, de la marca Great Wall Motors siendo esta planta la primera autorizada en toda Latinoamérica para su ensamblaje; las camionetas GWM Wingle 7 y Wingle Steed, vehículos de doble cabina de alta demanda en el segmento de trabajo y uso múltiple; los modelos de la marca KYC en sus versiones F3, V3 y

V7; y los vehículos de la marca Shineray, específicamente la Shineray X30L, una minivan de pasajeros ideal para el transporte familiar y comercial, y la Shineray G01[10].

Dentro de las instalaciones productivas de la planta, el área de soldadura representa el proceso de mayor exigencia térmica y de mayor criticidad operativa. En esta sección se llevan a cabo las uniones estructurales de las carrocerías metálicas de los vehículos mediante soldadura por resistencia eléctrica, utilizando maquinaria especializada de alta precisión que requiere un enfriamiento permanente y suficiente para operar dentro de los parámetros de diseño establecidos. Los sistemas de enfriamiento del área utilizan agua blanda como fluido refrigerante, circulándola continuamente a través de los circuitos internos de las máquinas para absorber el calor generado y garantizar la temperatura de trabajo adecuada en cada ciclo productivo [11]. La planta dispone de un tanque principal de almacenamiento de 18 m³, ubicado en el área de pintura, y tres tanques de enfriamiento de 8 m³ cada uno, localizados en el área de soldadura, los cuales abastecen directamente a los sistemas de enfriamiento de las líneas de producción.

No obstante, el proceso de reposición del agua blanda en estos sistemas se realiza actualmente de forma manual, mediante el uso de tanqueros internos y externos que abastecen el volumen requerido en intervalos de aproximadamente quince días. Este método no responde a un control automático del nivel del tanque, sino a la experiencia del operador y a inspecciones visuales realizadas durante la operación diaria. El proceso implica el traslado del tanquero hasta la bomba y la verificación visual del llenado, con un tiempo total de ciclo de aproximadamente 90 minutos por viaje para transportar 2.000 litros. Para llenar los tres tanques de 8 m³ desde nivel cero, el proceso requiere un tiempo total aproximado de 15,6 horas, distribuyendo los recursos de personal y logística en actividades que no generan valor productivo directo.

Esta situación genera deficiencias operativas que han sido identificadas como causas directas de interrupciones en la producción. Entre las principales limitaciones se destacan: variaciones no controladas en los niveles de almacenamiento, ausencia de instrumentación para el monitoreo en tiempo real, dependencia de proveedores externos de transporte, alta intervención manual del personal y costos operativos anuales, distribuidos entre mano de obra, combustible y mantenimiento del sistema de transporte.

2.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

Actualmente, la planta de tratamiento de agua de la empresa Ciudad del Auto Cía. Ltda., opera un sistema de bombeo de agua blanda de forma manual, lo que genera deficiencias en el proceso

de reposición. Los operadores deben realizar este trabajo cada dos semanas, esto implica un consumo significativo de tiempo general de la planta. Además, la ausencia de un sistema automatizado de bombeo, genera riesgos en los equipos de soldadura y en la calidad de los productos terminados.

Ante esta problemática, el presente trabajo de titulación propone la optimización del proceso de reposición de agua blanda para los sistemas de enfriamiento de las líneas de producción de la planta de soldadura de la Empresa Ciudad del Auto Cía. Ltda., mediante el diagnóstico del estado actual, el análisis técnico de los parámetros del proceso y el diseño e implementación de un sistema automatizado de bombeo con control de nivel y presión.

El sistema de bombeo de agua de la empresa abastece tres procesos clave: agua clarificada, agua blanda y agua desmineralizada. Sin embargo, la falta de automatización impide un control óptimo del nivel de los tanques y la distribución eficiente del agua. Además, los sistemas de enfriamiento en los procesos de soldadura requieren el uso de agua blanda para garantizar una adecuada transferencia de calor y prevenir la formación de incrustaciones y corrosión en los equipos. Sin embargo, el actual proceso de reposición de agua blanda presenta limitaciones relacionadas con el control del suministro, eficiencia en la distribución y el consumo de recursos [12] .

La reposición del agua hacia los tanques de enfriamiento se realiza mediante un sistema de bombeo manual, con la utilización de proveedores externos. Para solucionar este problema, se requiere un sistema de control automatizado basado en PI que permita optimizar el bombeo, mejorar la eficiencia operativa y garantizar un monitoreo preciso en tiempo real. La implementación de este sistema automatizado, reducirá la intervención manual, minimizará el desperdicio de agua y mejorará la estabilidad del sistema, garantizando una operación eficiente y sostenible dentro de la planta de soldadura.

2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿De qué manera la optimización del proceso de reposición de agua blanda, mediante la implementación de un sistema automatizado de bombeo con control de nivel y presión, puede reducir los tiempos de reposición y los costos logísticos en la planta de soldadura de la empresa Ciudad del Auto Cía. Ltda.?

2.3 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.3.1 Objeto de Investigación:

Optimización del proceso de reposición de agua blanda en el sistema de enfriamiento del proceso de soldadura.

2.3.2 Campo de Acción:

Proceso de ensamble en la línea de soldadura de la empresa CIAUTO.

Áreas de conocimiento:

Tabla 2.1 Áreas de conocimiento UNESCO

3311.01 Tecnología de Automatización.	3311.02 Ingeniería de control
---------------------------------------	-------------------------------

2.4 BENEFICIARIOS

2.4.1 Directos

Los beneficiarios directos de esta investigación son los directivos y técnicos de la empresa Ciudad del Auto CIAUTO Cía. Ltda., que participan de manera directa en la gestión, operación y mantenimiento del proceso de reposición de agua blanda para los sistemas de enfriamiento de las líneas de producción de la planta de soldadura. En la Tabla 2.2 se detallan los distintos Beneficiarios directos dentro de la empresa.

Tabla 2.2 Beneficiarios directos

Cargo / Actor	Nº de personas
Gerente General de CIAUTO	1
Coordinador de Producción – Planta de Soldadura	1
Ingeniero de Mantenimiento Industrial	1
Técnico responsable del sistema de tratamiento de agua blanda	1
Técnico de sistemas de enfriamiento de líneas de producción	2
Supervisor de líneas de producción – Planta de Soldadura	2
Total	8

2.4.2 Indirectos

Los beneficiarios indirectos de esta investigación son los operarios de la planta de soldadura, el personal de las demás plantas de producción, los proveedores locales y los clientes finales de CIAUTO Cía. Ltda. Según datos oficiales de la empresa, CIAUTO genera 270 empleos directos y aproximadamente 2.500 empleos entre directos e indirectos, además de articular una cadena productiva con 45 proveedores locales de la provincia de Tungurahua. En la Tabla 2.2 se detallan los distintos Beneficiarios indirectos dentro de la empresa.

Tabla 2.3 Beneficiarios indirectos

Cargo	N° de personas
Operarios de líneas de producción – Planta de Soldadura	80
Operarios de planta de pintura y ensamblaje	180
Personal de control de calidad	10
Proveedores locales vinculados a la cadena productiva	45
Clientes finales (compradores de vehículos ensamblados)	2185
Total (indirectos estimados)	2.500

2.5 JUSTIFICACIÓN

2.5.1 Justificación

La presente investigación se desarrolla a partir de una necesidad prioritaria identificada en el sistema de enfriamiento de la planta de soldadura de la empresa Ciudad del Auto Cía. Ltda., debido a que los equipos requieren un suministro constante de agua blanda para mantener condiciones adecuadas de funcionamiento. Actualmente, la reposición se realiza de forma manual desde el tanque de almacenamiento de la planta de pintura hacia los tanques de la planta de soldadura, generando dependencia de la intervención del personal, tiempos de abastecimiento, costos de transporte y operación del sistema. La problemática identificada se relaciona con la falta de automatización para controlar y reponer oportunamente el nivel de agua de los tanques. Esta condición puede disminuir la disponibilidad del agua necesaria para el enfriamiento, ocasionando un incremento de la temperatura de operación de los equipos. Por ello, resulta necesario intervenir sobre el sistema de reposición y no únicamente sobre las actividades propias del proceso de soldadura. Desde el ámbito académico, la investigación permite aplicar conocimientos de Ingeniería Industrial relacionados con el análisis de procesos, sistemas de

bombeo, control automático y optimización de recursos. Por esta razón, no se seleccionó un estudio de tiempos del proceso de soldadura debido a que la necesidad prioritaria identificada no corresponde a la duración de las operaciones realizadas por los trabajadores, sino al abastecimiento y control del agua utilizada en el sistema de enfriamiento. En este sentido, se plantea la automatización de la reposición de agua blanda como una alternativa orientada a reducir los tiempos operativos y costos logísticos, atendiendo directamente el problema identificado en la planta.

2.6 OBJETIVOS

2.6.1 Objetivo General

Optimizar el proceso de reposición de agua blanda en los sistemas de enfriamiento de las líneas de producción de la planta de soldadura de la empresa Ciudad del Auto Cía. Ltda., Ambato, para la reducción de tiempos operativos y costos logísticos.

2.6.2 Objetivos específicos

- Diagnosticar el proceso actual de la reposición de agua blanda en los sistemas de enfriamiento, mediante el levantamiento de información, para la identificación de las limitaciones técnicas, operativas y logísticas.
- Diseñar un sistema automatizado de bombeo, mediante la selección y dimensionamiento de sus componentes, para la optimización del abastecimiento de agua blanda a los sistemas de enfriamiento.
- Evaluar la propuesta de automatización sobre los tiempos de reposición y costos logísticos, mediante la comparación del sistema actual y propuesto, para la cuantificación de la reducción y el ahorro económico obtenidos.

2.6.3 Sistemas de tareas

En la tabla 2.4 se detalla las actividades a realizarse para dar cumplimiento a cada uno de los objetivos específicos.

Tabla 2.4 Sistema de tareas

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Diagnosticar el proceso actual de la reposición de agua blanda en los sistemas de enfriamiento, mediante el levantamiento de información, para la identificación de las limitaciones técnicas, operativas y logísticas.	Levantamiento de información sobre la situación actual	Datos reales del estado actual del proceso de reposición.	Diagrama de flujo
	Observación directa del funcionamiento del sistema de reposición de agua.	Registro de las limitaciones técnicas.	Registro sistemático de los tiempos operativos.
	Registro de fallas, retrasos y condiciones operativas actuales.	Registro de las limitaciones operativas.	Fichas técnicas.
	Revisión de reportes de mantenimiento y documentos técnicos.	Registro de las limitaciones logísticas.	Guía de observación.
Diseñar un sistema automatizado de bombeo, mediante la selección y dimensionamiento de sus componentes, para garantizar el abastecimiento de agua blanda a los sistemas de enfriamiento.	Análisis de alternativas tecnológicas aplicable al sistema.	Propuesta técnica detallada del sistema optimizado.	Diagramas de flujo.
	Selección de sensores, controladores, bombas y equipos requeridos.	Especificaciones de diseño de un sistema automatizado de reposición de agua blanda.	Matrices de selección.
	Elaboración de diagramas de flujo y funcionamiento.	Diagramas de flujo del proceso y diagramas de funcionamiento.	Software de diseño (Cade Simu)
	Diseño técnico de la propuesta de optimización.	Diagramas de funcionamiento y control.	Especificaciones técnicas.
Evaluar la propuesta de automatización sobre los tiempos de reposición y costos logísticos, mediante la comparación del sistema actual y propuesto, para establecer la reducción y el ahorro económico obtenidos.	Cálculo del tiempo de reposición del sistema actual y propuesto.	Informe comparativo del sistema y propuesto	Tablas comparativas.
	Cálculo de los costos del sistema de reposición actual y propuesto.	Reporte de las mejoras.	Indicadores de desempeño.
	Comparación entre el sistema actual y el sistema propuesto.	Reporte de verificación de la reducción del tiempo de reposición del sistema.	Hojas de cálculo.
	Análisis de los costos logísticos asociados al proceso.	Resumen de los costos logísticos.	Tablas comparativas.

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1 INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

3.1.1 Métodos científicos de investigación

La Tabla 3.1 presenta los principales métodos científicos de investigación, junto con su definición y aplicación general, con el propósito de identificar aquellos que pueden emplearse de acuerdo con las características y objetivos de una investigación.

Tabla 3.1 Métodos científicos de investigación

Método de investigación	Descripción general
Método inductivo	Parte de la observación y análisis de casos particulares para establecer conclusiones o principios de carácter general.
Método deductivo	Parte de principios, teorías o conocimientos generales para analizar y explicar situaciones particulares.
Método analítico	Consiste en descomponer un fenómeno, problema o situación en sus diferentes partes para estudiarlas de manera individual.
Método sintético	Consiste en integrar los elementos analizados para obtener una visión conjunta del fenómeno o problema estudiado.
Método descriptivo	Permite caracterizar y detallar las propiedades, características o condiciones de un fenómeno, situación o población.
Método experimental	Se basa en la realización de pruebas o experimentos bajo condiciones determinadas para analizar el comportamiento de variables.
Investigación aplicada	Está orientada a utilizar conocimientos científicos y técnicos para abordar problemas prácticos y generar soluciones concretas.

3.2 SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO INDUSTRIAL

Los sistemas de enfriamiento industrial desempeñan un papel crítico en el funcionamiento de los procesos productivos que generan altas cargas térmicas. En la industria automotriz, donde los procesos de manufactura exigen condiciones operativas precisas y continuas, el control térmico eficiente resulta indispensable. En particular, las líneas de producción de la planta de soldadura resultan fundamental disponer de un sistema de enfriamiento adecuado que garantice la estabilidad operativa de los equipos y la seguridad del personal. Las deficiencias en la gestión de estos sistemas pueden provocar desgaste en los equipos y tuberías, interrupciones no planificadas en la producción y pérdidas económicas significativas [13].

3.2.1 Sistemas de enfriamiento para los procesos de soldadura

En los procesos de soldadura industrial, el control térmico es un factor crítico para garantizar la estabilidad operativa de los equipos y la continuidad del proceso productivo. En la planta de soldadura de CIAUTO, los sistemas de enfriamiento permiten disipar el calor generado por las altas corrientes eléctricas y la operación continua de los equipos, evitando sobrecalentamientos que puedan afectar el rendimiento, la seguridad y la vida útil de los componentes [14].

3.2.1.1 Enfriamiento de las electropunteadoras

Las electropunteadoras generan elevadas cargas térmicas debido al paso de corriente eléctrica a través de los electrodos. Para evitar deformaciones, desgaste prematuro y pérdida de eficiencia en la transferencia de calor, estos equipos cuentan con un sistema de enfriamiento por agua que circula internamente por los electrodos y brazos conductores. El enfriamiento continuo permite mantener temperaturas operativas seguras, garantizando la calidad del punto de soldadura y reduciendo el riesgo de fallas térmicas [15].

3.2.1.2 Enfriamiento en la soldadura de punto

En la soldadura por resistencia (soldadura de punto), el calor se genera por efecto Joule al aplicar corriente eléctrica sobre las piezas metálicas. Debido a la alta intensidad de corriente utilizada, es indispensable un sistema de enfriamiento eficiente que controle la temperatura de: Electrodos, Transformadores y Cables conductores [16].

3.3 SISTEMA DE BOMBEO

Un sistema de bombeo se define como un conjunto de componentes mecánicos y eléctricos que permiten transferir energía al fluido para posibilitar su desplazamiento. Esta energía es proporcionada generalmente por un motor, que puede ser eléctrico o de combustión, y se transforma en energía hidráulica, expresada principalmente mediante presión y velocidad [17]. De esta manera, el sistema permite transportar el fluido de acuerdo con los requerimientos de caudal y presión establecidos para una determinada aplicación.

3.3.1 Tipos de sistemas de bombeo

- **Sistema cerrado:** se caracteriza por mantener el fluido en circulación dentro de un circuito, donde este actúa como medio de transferencia de energía calorífica. Por esta

razón, el propósito principal del sistema es facilitar la transferencia de calor entre los diferentes puntos del circuito, sin que exista un transporte continuo del fluido hacia el exterior [18].

- **Sistema abierto:** en este tipo de instalación, la bomba se utiliza para impulsar un fluido desde un punto de origen hasta otro lugar donde será requerido. Este principio se encuentra presente en sistemas de abastecimiento de agua, instalaciones de riego y diferentes procesos industriales. La bomba debe proporcionar la energía necesaria para superar la diferencia de altura entre los puntos del sistema y las pérdidas de carga generadas por la fricción en las tuberías y accesorios [19].

3.3.2 Equipos de sistemas de control de bombeo

Los sistemas de control de bombeo están conformados por diferentes equipos que permiten regular el funcionamiento de las bombas y controlar las condiciones de operación del sistema. Rangos seguros de temperatura en sistemas industriales [20]. La Tabla 3.2 presenta los principales equipos que conforman el sistema de control de bombeo. Estos elementos permiten controlar, monitorear y regular el funcionamiento del sistema.

Tabla 3.2 Equipos del sistema de control de bombeo

Equipo	Función dentro del sistema
Bomba centrífuga	Impulsa el agua blanda proporcionando la energía hidráulica necesaria para su transporte.
Motor eléctrico	Convierte la energía eléctrica en energía mecánica para accionar la bomba.
Sensor de nivel	Detecta el nivel de agua almacenada en los tanques.
Interruptor de nivel tipo flotador	Genera una señal cuando el agua alcanza un nivel determinado.
Presostato	Controla el funcionamiento del sistema de acuerdo con la presión de la línea.
Manómetro	Mide la presión del agua en la tubería en tiempo real.
Caudalímetro	Mide el caudal de agua que circula por la tubería.
Válvula de bola	Abre, cierra o aísla el paso del fluido.
Válvula flotadora	Regula automáticamente el ingreso de agua al tanque.
Tablero de control	Integra los dispositivos de mando, protección y señalización del sistema.
Tuberías y accesorios	Conducen el agua y permiten la conexión entre los diferentes componentes.

3.4 DIMENSIONAMIENTO DE LOS TANQUES DE ENFRIAMIENTO

3.4.1 Volumen de un tanque rectangular

La Figura 3.1 presenta la representación de un tanque rectangular, identificando sus dimensiones, las cuales permiten determinar su volumen.

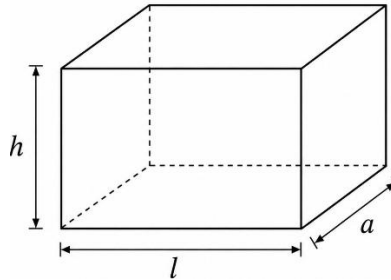


Figura 3.1 Representación de las dimensiones de un recipiente rectangular

$$V = l \cdot a \cdot h \quad (3.1)$$

Donde:

V = Volumen del tanque (m^3)

l = Largo (m)

a = Ancho (m)

h = Altura (m)

3.5 DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA BLANDA

3.5.1.1 Volumen de un recipiente cilíndrico

La Figura 3.2 presenta la representación geométrica de un tanque de forma cilíndrica, donde se identifican sus principales dimensiones. Esta representación permite establecer la relación geométrica necesaria para determinar el volumen de almacenamiento de agua.

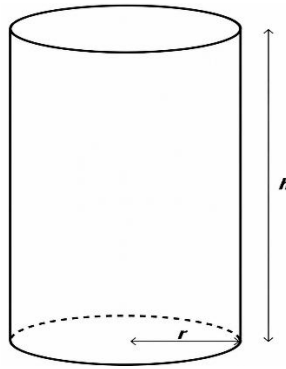


Figura 3.2 Representación geométrica de un tanque cilíndrico

$$V = \pi r^2 h \quad (3.2)$$

Donde:

V = Volumen del recipiente (m^3)

π = Radio de la base

h = Altura (m)

3.6 AGUA BLANDA EN PROCESOS INDUSTRIALES

3.6.1 Definición de agua blanda.

En el contexto industrial, particularmente en sistemas de enfriamiento, el agua blanda es aquella que ha sido tratada mediante procesos como el ablandamiento por intercambio iónico con el fin de reducir la durabilidad y proteger los equipos, mejorar la eficiencia mecánica y extender la vida útil de las instalaciones [21].

3.6.2 Diferencias entre agua dura y agua blanda

La diferencia principal entre el agua dura y el agua blanda radica en la concentración de minerales disueltos, especialmente calcio y magnesio. Estas diferencias influyen directamente en el desempeño de los sistemas industriales [22]. La Tabla 3.3 presenta una comparación de las principales características del agua dura y el agua blanda, considerando aspectos relevantes para los sistemas de enfriamiento industrial, como el contenido de calcio y magnesio, la formación de incrustaciones, la eficiencia en la transferencia térmica y el impacto en las tuberías y el mantenimiento del sistema.

Tabla 3.3 Comparación de las principales características del agua dura y el agua blanda

Característica	Agua dura	Agua blanda
Contenido de Ca^{2+} y Mg^{2+}	Alto	Bajo
Formación de incrustaciones	Alta	Muy baja
Transferencia térmica	Deficiente	Eficiente
Impacto en tuberías	Obstrucción y desgaste	Mayor vida útil
Mantenimiento del sistema	Frecuente	Reducido

3.6.3 Ventajas del uso de agua blanda en sistemas de enfriamiento

El uso de agua blanda en los sistemas de enfriamiento permite reducir los efectos asociados a la presencia de sales minerales en el agua, contribuyendo al adecuado funcionamiento y conservación de los equipos [23]. Con el propósito de sintetizar los principales beneficios del uso de agua blanda en sistemas de enfriamiento, en la Tabla 3.4 se presentan los aspectos más relevantes y su influencia en el funcionamiento y conservación de los equipos que integran el sistema.

Tabla 3.4 Beneficios del uso de agua blanda en sistemas de enfriamiento

Beneficio	Descripción	Efecto en el sistema
Reducción de incrustaciones	Disminuye la formación de depósitos minerales en tuberías, intercambiadores de calor y equipos auxiliares.	Favorece el flujo del agua y mantiene la capacidad hidráulica del sistema.
Mejora de la transferencia térmica	Reduce la acumulación de depósitos sobre las superficies de intercambio de calor.	Permite una transferencia de calor más eficiente y favorece la disipación térmica.
Protección de tuberías y equipos	Reduce la acumulación de minerales que puede afectar tuberías, válvulas, bombas y equipos de enfriamiento.	Contribuye a prolongar la vida útil de los componentes y reducir intervenciones de mantenimiento.

3.7 TRATAMIENTO Y REPOSICIÓN DE AGUA BLANDA

3.7.1 Métodos de ablandamiento del agua

El tratamiento del agua para obtener agua blanda es un proceso fundamental en aplicaciones industriales donde se requiere minimizar la dureza y evitar la formación de incrustaciones. Entre los métodos más utilizados se encuentra el ablandamiento por intercambio iónico, el cual se basa en el uso de resinas catiónicas. Las resinas de intercambio iónico se caracterizan por su alta

eficiencia, confiabilidad y facilidad de integración en sistemas industriales. Además, permiten un control preciso de la calidad del agua tratada, lo cual es esencial para sistemas de enfriamiento que operan de forma continua y requieren estabilidad en sus parámetros fisicoquímicos [23].

3.7.2 Proceso de reposición de agua en sistemas de enfriamiento

La reposición de agua blanda en sistemas de enfriamiento corresponde al suministro controlado de agua tratada para compensar las pérdidas naturales del sistema, tales como evaporación, purgas, fugas y consumo operativo. Este proceso es indispensable para mantener el nivel hidráulico adecuado, la presión de trabajo y la capacidad de disipación térmica del sistema. En sistemas industriales, la reposición puede realizarse de manera manual o automatizada. Sin embargo, los sistemas automatizados, mediante sensores de nivel, válvulas solenoides y bombas, permiten un mayor grado de precisión y confiabilidad [24].

3.7.3 Importancia de la reposición continua y controlada

La reposición continua y controlada de agua blanda es un factor crítico para la estabilidad operativa de los sistemas de enfriamiento industrial. Un suministro adecuado de agua tratada permite: Mantener condiciones hidráulicas constantes, evitar la entrada de aire al sistema por niveles bajos, garantizar una disipación térmica eficiente, prolongar la vida útil de tuberías, bombas y equipos [25].

3.8 REDES HIDRÁULICAS INDUSTRIALES

3.8.1 Concepto de redes hidráulicas

Las redes hidráulicas industriales son conjuntos de elementos interconectados cuya función es transportar, distribuir y controlar fluidos desde una fuente hasta los distintos puntos de consumo dentro de un proceso productivo. Estas redes operan bajo condiciones específicas de caudal, presión y temperatura, y su diseño debe garantizar un suministro continuo, seguro y eficiente del fluido. En sistemas de enfriamiento industrial, las redes hidráulicas permiten la circulación del agua blanda a través de equipos generadores de calor, intercambiadores térmicos y dispositivos auxiliares, asegurando la disipación térmica necesaria para el correcto funcionamiento de las líneas de producción [26].

3.8.2 Clasificación de los fluidos

La correcta identificación de los fluidos que circulan por sistemas de tuberías industriales es un aspecto fundamental para garantizar la seguridad operativa, facilitar las labores de mantenimiento y prevenir errores durante la operación de los sistemas. La Norma INEN 440 establece las categorías de fluidos y los colores de identificación asociados, los cuales son aplicables a sistemas hidráulicos, de enfriamiento y de servicios industriales, como los analizados en el presente estudio [27]. La Tabla 3.5 presenta el tipo de fluido y el color de identificación correspondientes, de acuerdo con lo establecido en la Norma INEN 440, la cual sirve como referencia para la correcta señalización de las tuberías en sistemas industriales.

Tabla 3.5 Clasificación del fluido y color de identificación.

TIPO DE FLUIDO	CATEGORÍA	COLOR ASIGNADO
Agua	1	Verde 

3.9 TUBERÍAS Y VÁLVULAS

3.9.1 Tuberías

Entre los componentes cruciales de una planta industrial es la unión entre los equipos e instalaciones para el transporte del fluido (agua blanda). Estas conexiones se crean a través de un sistema de tuberías que se adaptan a la temperatura y presión del fluido. Para cumplir con estos requisitos, se debe seleccionar el diámetro nominal del tubo y el material con el que está construido, y se aplicará aislamiento cuando el fluido lo necesite. De igual manera, estos tubos están vinculados a la maquinaria y entre ellos por diversos accesorios. Todo esto estará determinado por la velocidad y el caudal del fluido que circula por el sistema [28].

3.9.2 Clasificación de Tuberías

En los sistemas hidráulicos que sirven para la provisión y el reemplazo de agua blanda, las tuberías son un elemento fundamental. Esto es especialmente cierto en los sistemas de refrigeración de las líneas productivas de la planta de soldadura de la empresa Ciudad del Auto Cía. Ltda.

3.9.2.1 Según el Material de Fabricación

De acuerdo con el material con el que están construidas, las tuberías se clasifican en:

- **Tuberías metálicas:** Contienen acero inoxidable, acero común, hierro fundido, cobre y aleaciones especiales. Se emplean en aplicaciones que demandan una elevada resistencia mecánica y una capacidad para tolerar temperaturas elevadas, siendo frecuentes en sistemas de procesos e industriales [29].
- **Tuberías plásticas:** Hecha de policloruro de vinilo (CPVC), polietileno (PE), PVC (policloruro de vinilo), PEX (polietileno reticulado) y polipropileno (PP). Ofrecen ventajas como una instalación sencilla, un peso liviano y resistencia a la corrosión [30].

3.9.3 Pérdida de carga por fricción

Durante la circulación del agua por una tubería se producen pérdidas de energía debido al rozamiento entre el fluido y las paredes internas del conducto. La pérdida de carga por fricción permite cuantificar esta disminución de energía hidráulica a lo largo de un tramo de tubería [31].

$$H_f = f * \frac{l}{D} * \frac{v^2}{2g} \quad (3.3)$$

Donde:

H_f = Pérdida de carga por fricción (m)

f = Factor de fricción

l = Longitud de la tubería (m)

D = Diámetro interno (m)

v = Velocidad del fluido (m/s)

g = Aceleración de la gravedad (m/s^2)

3.9.3.1 Pérdidas de carga menores

Las pérdidas de carga menores se originan por las perturbaciones del flujo producidas por accesorios y elementos presentes en la red hidráulica, tales como válvulas, codos, tees, reducciones y otros componentes. Estas pérdidas se determinan mediante coeficientes asociados a cada accesorio.

$$H_l = \sum K * \frac{v^2}{2g} \quad (3.4)$$

Donde:

H_l = Pérdida de carga menor total (m)

K = Coeficiente de pérdida del accesorio

v = Velocidad del fluido (m/s)

g = Aceleración de la gravedad (m/s^2)

3.9.3.2 Pérdidas de carga mayores y menores

Las pérdidas de carga se clasifican en pérdidas mayores y pérdidas menores, de acuerdo con su origen dentro del sistema hidráulico. Las pérdidas de carga presentes en los sistemas hidráulicos constituyen un factor determinante en el análisis y diseño de redes de tuberías, ya que influyen directamente en el comportamiento del flujo y en los requerimientos de presión del sistema. En este contexto, resulta necesario clasificar las pérdidas de carga según su origen, con el fin de facilitar su análisis y comprender su impacto en la eficiencia hidráulica del sistema [32]. La Tabla 3.6 presenta la clasificación de las pérdidas de carga mayores y menores, así como su relación con los sistemas de reposición de agua blanda en aplicaciones industriales.

Tabla 3.6 Clasificación de las pérdidas de carga en sistemas de tuberías.

Tipo de pérdida de carga	Origen dentro del sistema hidráulico	Factores o elementos asociados	Aplicación en sistemas de reposición de agua blanda
Pérdidas de carga mayores	Se producen a lo largo de los tramos rectos de la tubería debido al rozamiento del fluido con las paredes internas del conducto.	Longitud de la tubería, diámetro interno, rugosidad del material, velocidad de circulación del agua.	Son relevantes en recorridos extensos entre el sistema de tratamiento de agua blanda, el tanque de almacenamiento y los puntos de consumo en los sistemas de enfriamiento industrial.
Pérdidas de carga menores	Se originan en puntos donde el flujo sufre perturbaciones locales por cambios en dirección, sección o control del caudal.	Codos, tees, válvulas, reducciones, ampliaciones y accesorios hidráulicos.	Aunque individuales son pequeñas, su acumulación puede representar una parte significativa de la pérdida total en sistemas industriales con múltiples conexiones y elementos de control del flujo.

3.9.4 Válvulas

Las válvulas son elementos fundamentales de los sistemas hidráulicos, ya que permiten controlar, regular, direccionar o detener el flujo de fluidos en un sistema de tuberías. Para garantizar la seguridad del procedimiento, la efectividad en las operaciones y el resguardo de los equipos relacionados, es crucial seleccionar e implementar correctamente los sistemas de reposición de agua blanda para refrigeración industrial [33].

3.9.4.1 Tipos de válvulas industriales

En aplicaciones hidráulicas industriales, las válvulas se clasifican de acuerdo con su función y diseño constructivo. La Tabla 3.7 presenta las más utilizadas en sistemas de enfriamiento [34] :

Tabla 3.7 Tipos de válvulas

Tipo de válvula	Abreviatura	Función principal
Válvula de compuerta (Gate Valve)	GV	Se utiliza principalmente para la apertura y cierre total del flujo, presentando mínimas pérdidas de carga cuando se encuentra completamente abierta.
Válvula de globo (Globe Valve)	GLV	Permite una regulación precisa del caudal, aunque genera mayores pérdidas de carga debido a su configuración interna.
Válvula de bola (Ball Valve)	BV	Proporciona un cierre rápido y hermético, siendo ampliamente utilizada en sistemas de reposición y conducción de agua.
Válvula mariposa (Butterfly Valve)	BFV	Es adecuada para tuberías de grandes diámetros, debido a su bajo peso y capacidad para controlar el flujo.
Válvula de retención (Check Valve)	CV	Permite el flujo en un solo sentido, evitando el retorno del agua y protegiendo las bombas y demás equipos del sistema.
Válvula solenoide (Solenoid Valve)	SV	Permite controlar eléctricamente el flujo de agua, siendo especialmente útil en sistemas automatizados.

3.10 BOMBAS HIDRÁULICAS

3.10.1 Definición de bomba hidráulica

Las bombas hidráulicas son dispositivos mecánicos cuya función principal es proporcionar energía al fluido, permitiendo su desplazamiento a través de un sistema hidráulico. Estas máquinas convierten la energía mecánica, suministrada generalmente por un motor eléctrico, en energía hidráulica, expresada en forma de caudal y presión [35].

3.10.2 Jerarquización de criterios de selección

La selección de equipos para un sistema de bombeo requiere considerar diferentes criterios técnicos y económicos que permitan determinar la alternativa más adecuada de acuerdo con las condiciones de operación [36]. Entre los principales criterios se encuentran presentados en la Tabla 3.8 la jerarquización de estos criterios permite establecer el nivel de importancia de cada uno dentro del proceso de selección.

Tabla 3.8 Matriz de ponderación de criterios de selección

Criterio	Ponderación (%)	Bomba A	Bomba B	Bomba C
Caudal requerido	25	-	-	-
Altura manométrica	20	-	-	-
Potencia	15	-	-	-
Eficiencia	15	-	-	-
Costo	10	-	-	-
Mantenimiento	5	-	-	-
Confiabilidad	10	-	-	-
Total, ponderado	100%	-	-	-

Nota: 1 = Muy bajo · 2 = Bajo · 3 = Medio · 4 = Alto · 5 = Muy alto

3.10.3 Tipos de bombas utilizadas en sistemas de enfriamiento

En aplicaciones industriales de enfriamiento, se emplean diversos tipos de bombas hidráulicas, la Tabla 3.9 se presenta los tipos de bombas las más comunes las siguientes [37]:

Tabla 3.9 Tipos de bombas

Tipo de bomba	Características principales	Aplicación
Bomba centrífuga	Presenta una construcción sencilla, alta confiabilidad y capacidad para manejar grandes caudales con presiones moderadas.	Sistemas de enfriamiento que requieren circulación continua de agua.
Bomba multietapa	Dispone de varias etapas de impulsión, permitiendo alcanzar una mayor altura manométrica y mantener un caudal constante.	Sistemas donde se requiere vencer grandes alturas o pérdidas de carga.
Bomba de eje horizontal	Su configuración facilita la instalación, inspección y mantenimiento del equipo.	Instalaciones convencionales con espacio suficiente para el montaje.
Bomba de eje vertical	Su disposición vertical permite aprovechar mejor el espacio disponible	Pozos, tanques o instalaciones donde existen limitaciones de espacio.

3.10.4 Parámetros básicos de operación

3.10.4.1 Altura manométrica total

La altura manométrica total representa la carga hidráulica que debe proporcionar la bomba para transportar el fluido desde el punto de origen hasta el punto de destino, considerando el desnivel existente y las pérdidas de carga del sistema [38].

$$HMT = H_e + H_f + H_l \quad (3.5)$$

Donde:

HMT = altura manométrica total (m)

H_e = altura estática o desnivel geométrico (m)

H_f = pérdida de carga por fricción (m)

H_l = pérdidas de carga menores (m)

3.10.4.2 Presión hidráulica

La presión hidráulica permite relacionar la altura de una columna de fluido con la densidad del mismo y la aceleración gravitacional. Esta relación permite expresar la carga hidráulica del sistema en términos de presión [38].

$$P = \rho * g * HMT \quad (3.6)$$

Donde:

P = Presión (Pa)

ρ = Densidad del fluido (kg/m³)

g = Aceleración de la gravedad (m/s²)

HMT = Altura manométrica total (m)

3.10.4.3 Potencia del motor

La potencia requerida por el motor de una bomba depende de la potencia hidráulica necesaria para transportar el fluido y de la eficiencia del sistema de bombeo. Esta relación permite determinar la potencia que debe proporcionar el motor [39].

$$P_m = \frac{P_h}{\eta} \quad (3.7)$$

Donde:

P_m = Potencia requerida por el motor (W)

P_h = Potencia hidráulica (W)

η = Eficiencia del sistema de bomba

3.10.4.4 Potencia hidráulica

La potencia hidráulica representa la energía por unidad de tiempo que la bomba transmite al fluido. Su valor depende del caudal, la densidad del fluido, la aceleración de la gravedad y la altura manométrica total [39].

$$P_h = \rho * g * Q * HMT \quad (3.8)$$

Donde:

P_h = Potencia hidráulica (W)

ρ = Densidad del fluido (kg/m³)

g = Aceleración de la gravedad (m/s²)

Q = Caudal volumétrico (m³/s)

HMT = Altura manométrica total (m)

3.10.5 Caudal

El caudal es una magnitud física que expresa la cantidad de fluido que circula a través de una sección transversal de un conducto, tubería o canal en una unidad de tiempo determinada. En los sistemas de enfriamiento industrial, el caudal representa la cantidad de agua que debe circular para extraer el calor generado por los equipos y mantenerlos dentro de rangos seguros de temperatura de operación. Por lo tanto, es un parámetro crítico en el diseño y operación de sistemas de refrigeración, ya que un caudal insuficiente puede provocar sobrecalentamiento de los equipos, mientras que un caudal excesivo genera consumos innecesarios de energía y puede causar problemas de erosión en tuberías y componentes [40] .

$$Q = \frac{V}{t} \quad (3.9)$$

Donde:

- Q = Caudal volumétrico (m^3/s)
- V = Volumen de fluido (m^3)
- t = Tiempo (s)

3.10.5.1 Área de la sección transversal

El área transversal de una tubería es un parámetro necesario para determinar las condiciones de circulación del fluido. Para una tubería de sección circular, el área puede obtenerse a partir de su diámetro interno [41].

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} \quad (3.10)$$

Donde:

- A = Área transversal interna de la tubería (m^2)
- π = Constante matemática
- D^2 = Diámetro interno de la tubería (m)

3.10.5.2 Velocidad del fluido

La velocidad media del fluido dentro de una tubería puede determinarse relacionando el caudal volumétrico con el área transversal del conducto. Este parámetro permite analizar las condiciones de circulación del agua dentro de la red hidráulica [42].

$$v = \frac{Q}{A} \quad (3.11)$$

Donde:

- v = Velocidad media del fluido (m/s)
- Q = Caudal volumétrico (m^3/s)
- A = Área transversal de la tubería (m^2)

3.10.5.3 Tiempo de reposición

El tiempo necesario para reponer un determinado volumen de agua puede obtenerse a partir de la relación entre el volumen que debe ser suministrado y el caudal disponible. Esta expresión permite estimar el tiempo requerido para completar la operación de reposición [42].

$$t = \frac{V}{Q} \quad (3.12)$$

Donde:

- t = Tiempo de reposición (s)
- V = Volumen de agua a reponer (m^3)
- Q = Caudal volumétrico (m^3/s)

3.11 Parámetros térmicos

3.11.1 Diferencia de tiempos

La diferencia de tiempo permite determinar la reducción obtenida al comparar el tiempo empleado en el proceso actual con el tiempo establecido para el proceso propuesto. Este cálculo facilita la evaluación de la mejora alcanzada mediante la propuesta de optimización [43].

$$\Delta T = t_a - t_o \quad (3.13)$$

Donde:

- ΔT = Reducción de tiempo (min)
- t_a = Tiempo actual (min)
- t_o = Tiempo propuesto (min)

3.12 MARCO LEGAL Y NORMATIVO

El presente estudio se sustenta en un conjunto de normas técnicas, legales y ambientales que regulan el diseño, operación y control de los sistemas hidráulicos, la calidad del agua y la seguridad industrial, así como el uso eficiente del recurso hídrico. El cumplimiento de este marco normativo es fundamental para garantizar la viabilidad técnica, legal y ambiental del sistema de reposición de agua blanda en los sistemas de enfriamiento industrial de la empresa Ciudad del Auto Cía. Ltda.

3.12.1 Normas técnicas aplicables a sistemas hidráulicos

Los sistemas hidráulicos industriales deben diseñarse y operar conforme a normas técnicas que aseguren su seguridad, eficiencia y confiabilidad. En el Ecuador, se consideran principalmente:

- Normas técnicas INEN, relacionadas con tuberías, válvulas, bombas y accesorios hidráulicos [44].
- Normas internacionales ISO, aplicables al diseño, fabricación y mantenimiento de equipos hidráulicos [45].
- Normativas ANSI/ISA-5.1 comúnmente adoptadas como referencia técnica para sistemas de conducción de fluidos, selección de válvulas y componentes presión [46].

Estas normativas buscan establecer criterios técnicos para el diseño, selección, instalación y operación de los componentes hidráulicos y de control, garantizando el funcionamiento, la seguridad del personal técnico.

3.12.2 Normativa de seguridad industrial

La seguridad industrial es un aspecto fundamental en la operación de sistemas hidráulicos y automatizados. En el Ecuador, las empresas deben cumplir con disposiciones relacionadas con:

- Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores.
- Normativa del Ministerio del Trabajo en materia de prevención de riesgos laborales.
- Normas técnicas de seguridad para el uso de equipos eléctricos, mecánicos e hidráulicos.
- Aplicación de estándares internacionales como ISO 45001, orientados a la gestión de la seguridad y salud ocupacional.

Estas normativas buscan prevenir accidentes laborales, proteger al personal técnico y garantizar condiciones seguras durante la operación y mantenimiento del sistema de reposición de agua blanda [47].

3.13 EVALUACIÓN ENERGÉTICA Y ECONÓMICA DEL SISTEMA

3.13.1 Consumo de energía

El consumo de energía asociado al funcionamiento de un equipo depende de la potencia utilizada y del tiempo de operación. Considerando la eficiencia del sistema, esta relación permite estimar la energía empleada durante el funcionamiento del equipo [48].

$$E = \frac{P * t}{\eta} \quad (3.14)$$

Donde:

- E = Energía consumida (kWh)
- P = Potencia del equipo (kW)
- t = Tiempo de funcionamiento (h)
- η = Eficiencia del sistema

3.13.2 Costo de energía

El costo asociado al consumo energético puede determinarse relacionando la cantidad de energía utilizada con la tarifa eléctrica correspondiente. Esta expresión permite estimar el costo económico derivado del funcionamiento del sistema [48] .

$$C_L = E * T_e \quad (3.15)$$

Donde:

- C_L = Costo de energía (USD)
- E = Energía consumida (kWh)
- T_e = Tarifa de energía eléctrica (USD/kWh)

3.13.3 Costo anual

El costo anual permite proyectar el gasto asociado a la operación del sistema durante un año. Para su determinación se considera el costo correspondiente a cada periodo de operación y el número de periodos considerados [48].

$$C_a = C_L * n \quad (3.16)$$

Donde:

- C_a = Costo anual (USD/año)

- C_L = costo de operación por periodo (USD)
- n = número de periodos de operación (periodos/año)

3.13.4 Relación costo-beneficio

La relación costo-beneficio es un indicador empleado para evaluar la conveniencia económica de una alternativa de inversión. Este indicador relaciona los beneficios económicos obtenidos con los costos necesarios para implementar y operar la propuesta [49].

$$C/B = \frac{B}{C} \quad (3.17)$$

Donde:

- C/B = Relación costo-beneficio
- B = Beneficios económicos (USD)
- C = Costos asociados a la alternativa (USD)

3.13.5 Periodo de recuperación de la inversión

El periodo de recuperación de la inversión permite estimar el tiempo requerido para recuperar el capital destinado a la implementación de una propuesta mediante los beneficios económicos generados durante su operación [50].

$$P_r = \frac{I_i}{B_a} \quad (3.18)$$

Donde:

- P_r = Tiempo requerido para recuperar la inversión (años)
- I_i = capital necesario para implementar la propuesta (USD)
- B_a = beneficio económico generado durante un año (USD/año)

4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

4.1 MODALIDAD O ENFOQUE DE LA PROPUESTA

La presente investigación se desarrolla utilizando el método de investigación aplicada con enfoques tanto cuantitativos como cualitativos, con el propósito de obtener una comprensión integral del proceso de reposición de agua blanda y proponer mejoras efectivas. Desde el enfoque

cuantitativo, se analizan variables operativas relevantes como el caudal de reposición, la presión del sistema, la temperatura de operación, el tiempo requerido para la reposición. Estos datos permiten evaluar de manera objetiva el desempeño del sistema y comparar su funcionamiento antes y después de la implementación de mejoras. Por otro lado, el enfoque cualitativo se basa en la observación directa del proceso, la revisión de los procedimientos operativos actuales y el intercambio de información con el personal encargado de la operación y mantenimiento. Este análisis facilita la identificación de prácticas inadecuadas, fallas recurrentes y oportunidades de mejora que no siempre son evidentes en los datos numéricos, aportando una visión más completa del sistema.

4.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

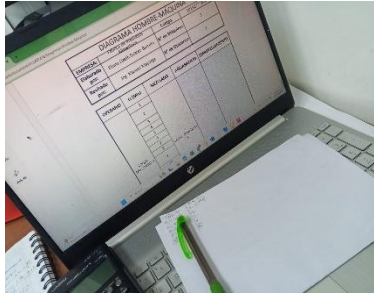
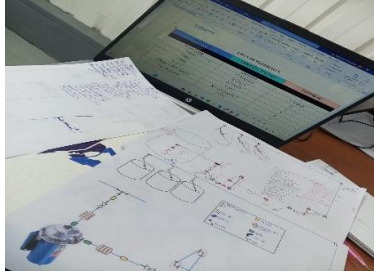
El estudio surgió a partir de la identificación de dificultades en el proceso actual de abastecimiento, principalmente relacionadas con la reposición manual del agua, los tiempos empleados y los costos asociados a las actividades necesarias para garantizar el suministro hacia los sistemas de enfriamiento. La investigación inició con una observación directa del proceso de reposición de agua blanda, mediante visitas a las áreas involucradas, con el fin de conocer las condiciones actuales de operación, identificar los equipos utilizados y determinar las principales actividades que intervienen en el abastecimiento de los sistemas de enfriamiento. Durante esta etapa también se recopiló información relacionada con los tanques de almacenamiento, equipos de bombeo, tuberías, accesorios y elementos de control existentes en el proceso. Posteriormente, se realizó el levantamiento y análisis de información técnica y operativa del sistema, considerando variables como los volúmenes de almacenamiento, distancias de recorrido, condiciones de operación, caudales, presiones y tiempos requeridos para la reposición. Esta información permitió establecer las condiciones iniciales del proceso y determinar los requerimientos necesarios para plantear una alternativa de mejora. A partir del diagnóstico realizado, se procedió con el diseño de un sistema automatizado de bombeo para la reposición de agua blanda, considerando la selección y dimensionamiento de los principales componentes del sistema, así como los elementos necesarios para el control y monitoreo del proceso. Finalmente, se realizó una evaluación técnica y económica de la propuesta, comparando las condiciones del proceso actual con las obtenidas mediante el sistema planteado. Esta comparación permitió determinar la reducción de tiempos y costos asociados a la reposición de agua blanda y establecer la conveniencia de la alternativa propuesta para la empresa. De esta manera, el diseño de la investigación permitió desarrollar el estudio de forma secuencial, partiendo de la identificación

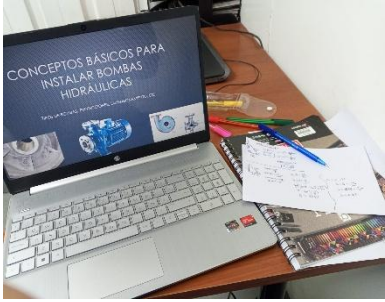
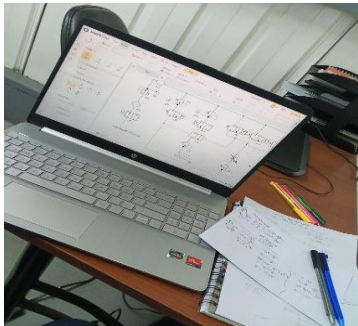
y diagnóstico del problema, seguido del levantamiento de información, análisis de las condiciones actuales, diseño de la propuesta de automatización y evaluación de sus resultados, con el propósito de contribuir a la optimización del proceso de reposición de agua blanda de los sistemas de enfriamiento de la planta de soldadura.

4.3 FASES DE APLICACIÓN

La Tabla 4.1 evidencia la secuencia de actividades desarrolladas durante el proyecto, desde la identificación de las deficiencias del proceso actual hasta la implementación y verificación del sistema de bombeo automatizado. Las evidencias fotográficas presentadas en los anexos permiten respaldar las actividades correspondientes al diseño, montaje, instalación, puesta en marcha y finalización del sistema.

Tabla 4.1 Fases y actividades desarrolladas durante el proyecto

FASE	FIGURA	DESCRIPCIÓN
1. Identificación del problema		En esta fase se identificaron las principales dificultades del proceso de reposición de agua blanda, relacionadas con la operación manual, la falta de monitoreo automático y los costos asociados al proceso.
2. Recolección y análisis de información		Se realizó el levantamiento de información en campo y la investigación de los elementos necesarios para la propuesta, considerando el sistema de bombeo, simuladores, bombas hidráulicas, caudal, tuberías y condiciones de instalación. También se efectuó la revisión y preparación de las tuberías.
3. Diseño del sistema propuesto		Con la información recopilada se analizaron las características del sistema de bombeo, las tuberías y las condiciones requeridas para establecer el diseño del sistema propuesto y su configuración hidráulica.

4. Selección de equipos y componentes		Se analizaron y seleccionaron los equipos y componentes necesarios para la implementación del sistema, considerando la bomba, tuberías y elementos eléctricos que conformarían el sistema automatizado.
5. Diseño del control automático		Se desarrolló el tablero de control mediante el acondicionamiento de su estructura, ubicación de los componentes, perforación de la base metálica, montaje y conexionado de los elementos eléctricos y preparación de los conductores.
6. Simulación y pruebas del sistema		Se realizó la investigación y utilización de herramientas de simulación para analizar previamente el funcionamiento del sistema de control y verificar la lógica de operación antes de su implementación en campo.
7. Implementación del sistema		Se efectuó el montaje e instalación de los componentes del sistema, incluyendo la distribución de los elementos eléctricos dentro del gabinete, colocación de tuberías, verificación de conexiones de la bomba e instalación del tablero de control.

8. Puesta en marcha y ajustes		Se verificó la correcta instalación de los componentes y se realizaron ajustes en las conexiones eléctricas. Posteriormente, durante la puesta en marcha, se verificó la existencia de posibles fugas y se efectuaron las correcciones necesarias.
9. Evaluación de resultados y beneficios		Se realizaron las correcciones finales y se colocaron las etiquetas correspondientes para facilitar la identificación de los elementos del sistema, dejando preparada la instalación para su operación y seguimiento.
10. Conclusiones y recomendaciones		Finalmente, se obtuvo el tablero de control completamente terminado y el sistema de bombeo implementado, evidenciando la culminación de la propuesta de automatización y las condiciones finales del proyecto.

La Figura 4.1 presenta de manera resumida y secuencial las principales etapas del proyecto, desde la identificación del problema y el análisis del proceso actual, hasta el diseño, selección de componentes, automatización, implementación, evaluación de resultados y formulación de conclusiones y recomendaciones.



Figura 4.1 Fases para el desarrollo del trabajo.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 PRIMER OBJETIVO ESPECÍFICO

5.1.1 Levantamiento de información sobre parámetros de operación

En la planta de soldadura de la Empresa Ciudad del Auto Cía. Ltda., el proceso de reposición de agua blanda para los sistemas de enfriamiento se realiza actualmente de forma manual, mediante el uso de tanqueros internos y externos, los cuales abastecen el volumen requerido de agua en intervalos programados. Este método constituye la alternativa disponible para garantizar el funcionamiento de los sistemas de enfriamiento de las líneas de producción. La frecuencia de reposición del recurso hídrico se establece de manera aproximada cada 15 días, dependiendo del nivel de consumo del sistema y de la disponibilidad del proveedor externo o interno. Esta periodicidad no responde a un control automático del nivel del tanque, sino a la experiencia del operador y a inspecciones visuales realizadas durante la operación diaria. El proceso inicia con la solicitud del tanquero, la cual es gestionada por el personal de mantenimiento cuando se detecta un nivel bajo de agua en los tanques de almacenamiento. Dicha solicitud se realiza de manera anticipada con el proveedor externo, considerando los tiempos de respuesta y coordinación logística necesarios para el abastecimiento. Posteriormente, se lleva a cabo el transporte del agua blanda desde las instalaciones del proveedor hasta la planta de soldadura, lo que implica costos asociados al servicio de transporte y posibles retrasos debido a factores externos como disponibilidad del tanquero.

5.1.1.1 Mapa de procesos de la empresa

La investigación se encuentra ubicada dentro de los procesos operativos, específicamente en el proceso de soldadura, debido a que analiza la reposición de agua blanda utilizada en los sistemas de enfriamiento de las líneas de producción. El estudio busca optimizar este proceso mediante la reducción de tiempos y costos logísticos, contribuyendo a mantener la disponibilidad del sistema de enfriamiento y la continuidad de las operaciones productivas.

La Figura 5.1 presenta el mapa de procesos de la empresa, en el cual se identifican los procesos estratégicos, operativos y de apoyo que conforman su estructura organizacional. Esta representación permite visualizar la relación existente entre los diferentes procesos y ubicar el proceso de reposición de agua blanda dentro de los Procesos Operativos (Planta de pintura y soldadura).

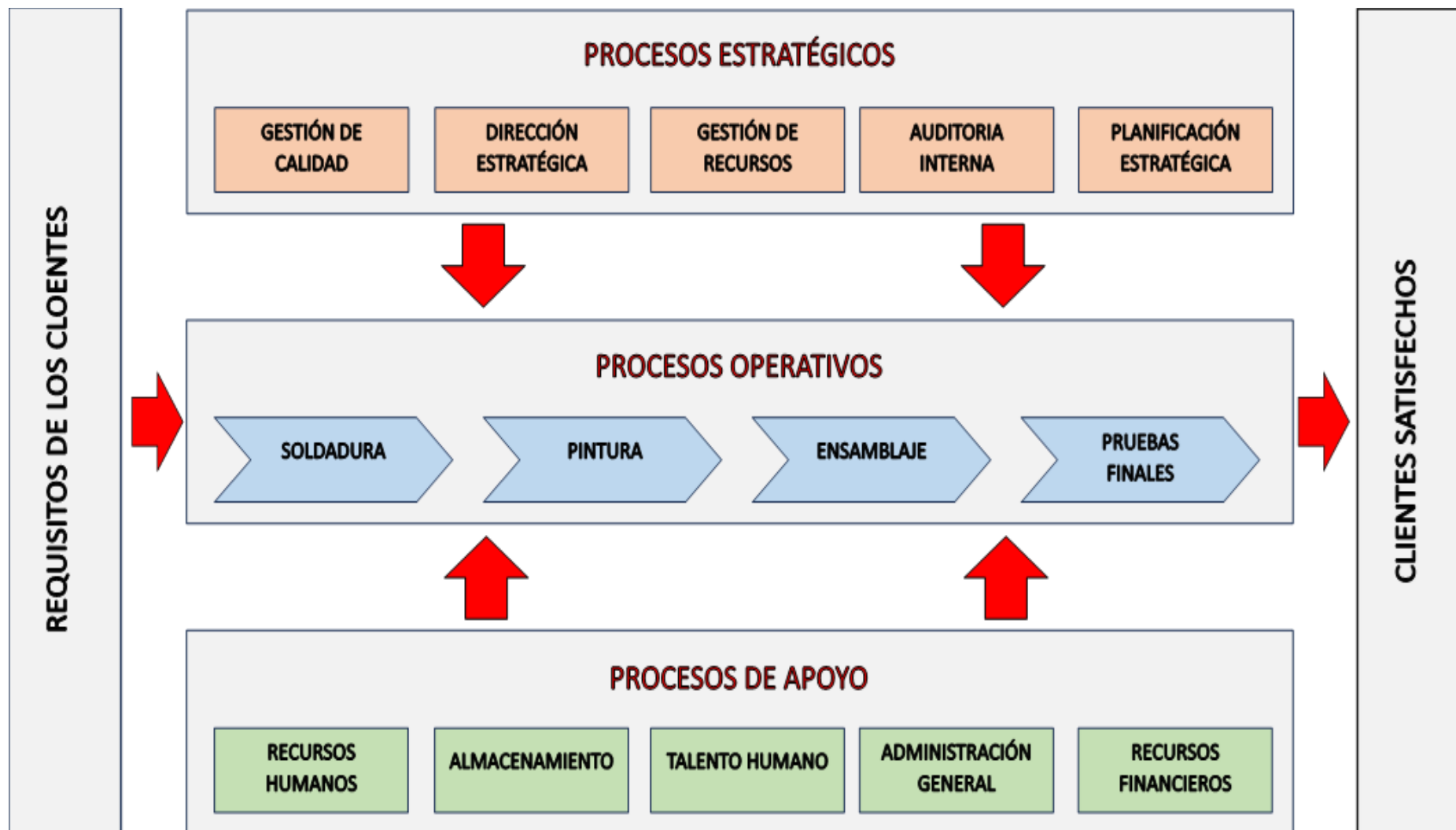


Figura 5.1 Mapa de procesos de la empresa

5.1.1.2 Diagrama de flujo del proceso actual

La Figura 5.2 presenta el diagrama que describe el proceso actual de reposición de agua blanda utilizado actualmente en los sistemas de enfriamiento de las líneas de producción de la planta de soldadura.

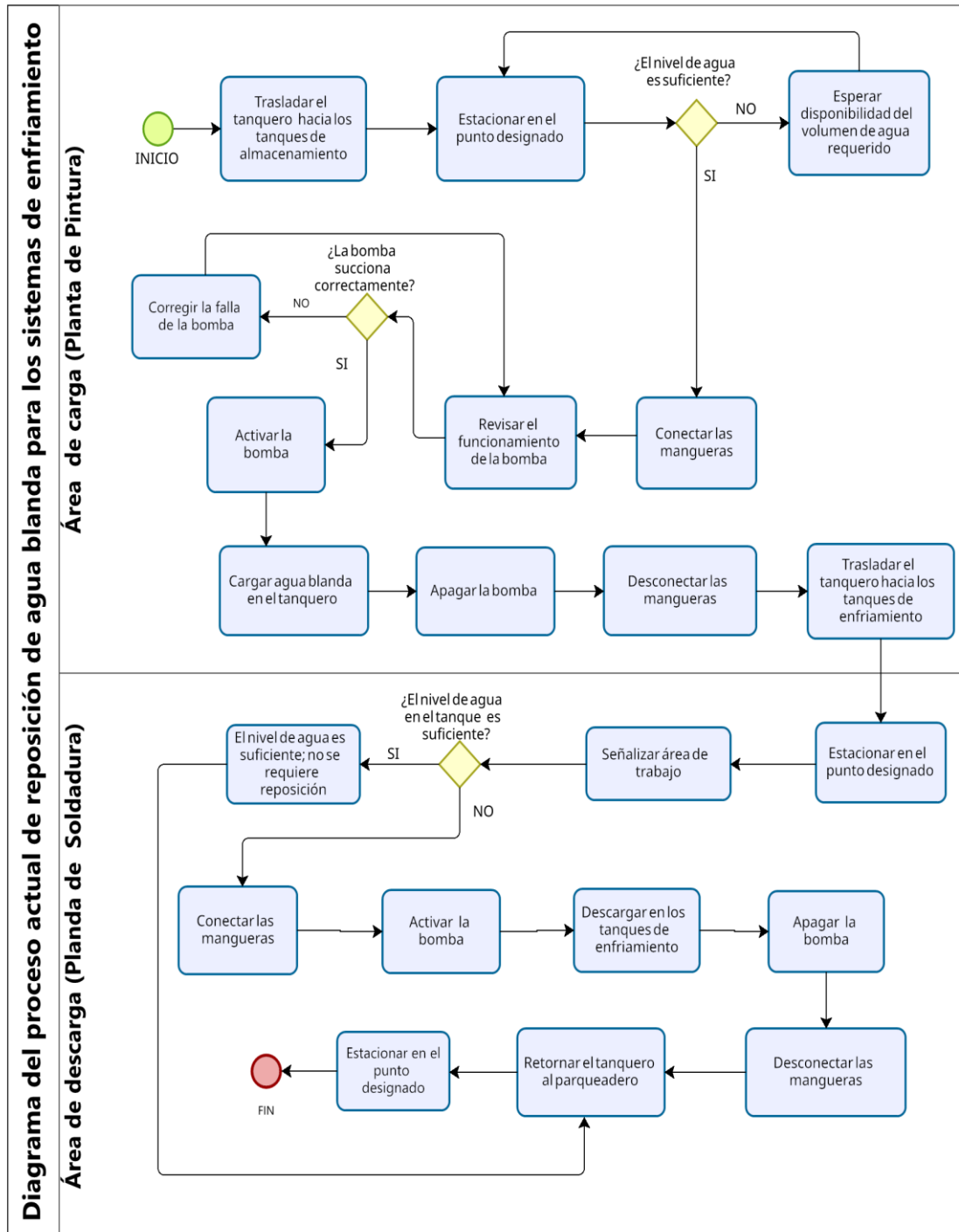


Figura 5.2 Diagrama de flujo del proceso actual con tiempos identificados.

5.1.2 Dimensiones geométricas de los tanques de enfriamiento

La Figura 5.3 presenta las dimensiones geométricas de los tanques de enfriamiento utilizados en el área de soldadura, los cuales cuentan con una capacidad nominal de 8 m³ cada uno.



Figura 5.3 Dimensiones geométricas para los tanques de enfriamiento.

5.1.2.1 Cálculo de la capacidad de los tanques de enfriamiento

El cálculo del volumen se realizó considerando que los tres tanques de enfriamiento presentan las mismas dimensiones geométricas y, por lo tanto, la misma capacidad. Cada tanque posee una forma cúbica con una longitud de lado de 2 metros, por lo que su volumen se determina mediante la Ecuación (3.1):

$$V = l \cdot a \cdot h$$

$$V = 2(\text{m}) \cdot 2(\text{m}) \cdot 2(\text{m})$$

$$V = 8\text{m}^3$$

5.1.3 Dimensiones geométricas del tanque de almacenamiento

La Figura 5.4 presenta el tanque principal de almacenamiento de agua blanda, constituye la reserva general del sistema y su capacidad condiciona la disponibilidad de agua para el abastecimiento de los tanques de enfriamiento del área de soldadura.



Figura 5.4 Dimensiones geométricas del tanque principal de almacenamiento de agua

5.1.3.1 Cálculo de la capacidad del tanque de almacenamiento de agua blanda

El cálculo de la capacidad del tanque de almacenamiento de agua blanda se realizó con la finalidad de determinar el volumen disponible para almacenar el recurso necesario para la reposición de los sistemas de enfriamiento de la planta de soldadura. Para ello, se empleó la Ecuación 3.2, considerando las dimensiones del tanque de almacenamiento.

$$V = \pi r^2 h$$

$$V = \pi \cdot (1.225\text{m})^2 \cdot (3.82\text{m})$$

$$V = 18\text{m}^3$$

La Tabla 5.1 presenta las características principales de los tanques de almacenamiento de agua blanda utilizados en las plantas de pintura y soldadura, incluyendo su ubicación, tipo, capacidad y función dentro del proceso productivo.

Tabla 5.1 Características y capacidades de los tanques de almacenamiento

Área / Planta	Ubicación del tanque	Tipo de tanque	Capacidad (m ³)	Número de tanques	Capacidad total (m ³)	Función dentro del proceso
Planta de Pintura	Área de almacenamiento de agua blanda	Tanque principal de almacenamiento	18	1	18	Recepción y almacenamiento de agua blanda proveniente de tanqueros externos
Planta de Soldadura	Sistemas de enfriamiento de líneas de producción	Tanques de enfriamiento	8	3	24	Abastecimiento directo de agua blanda a los sistemas de enfriamiento

5.1.4 Frecuencia de reposición

La frecuencia de reposición de agua blanda constituye un indicador crítico para evaluar la demanda operativa y la capacidad de respuesta del sistema actual. La Tabla 5.2 presenta la frecuencia de reposición de agua blanda según diferentes períodos de análisis, calculada a partir del consumo base de 2000 litros cada 15 días.

Tabla 5.2 Registros de producción y control de reposición.

Período de análisis	Frecuencia de reposición	Volumen por evento	Observaciones
Quincenal	1 reposición/15 días	2000 L (2.0 m³)	Total 2000 L (2.0 m³)
Mensual	2 reposiciones/mes	2000 L c/u	Total 4000 L/mes (4 m³/mes)
Anual	24 reposiciones/año	2000 L c/u	Total 48000 L/año (48 m³/año)

5.1.4.1 Ajuste por temperatura ambiente

En la Tabla 5.3 se presentan los valores de consumo diario total y por tanque, considerando dichas condiciones de operación.

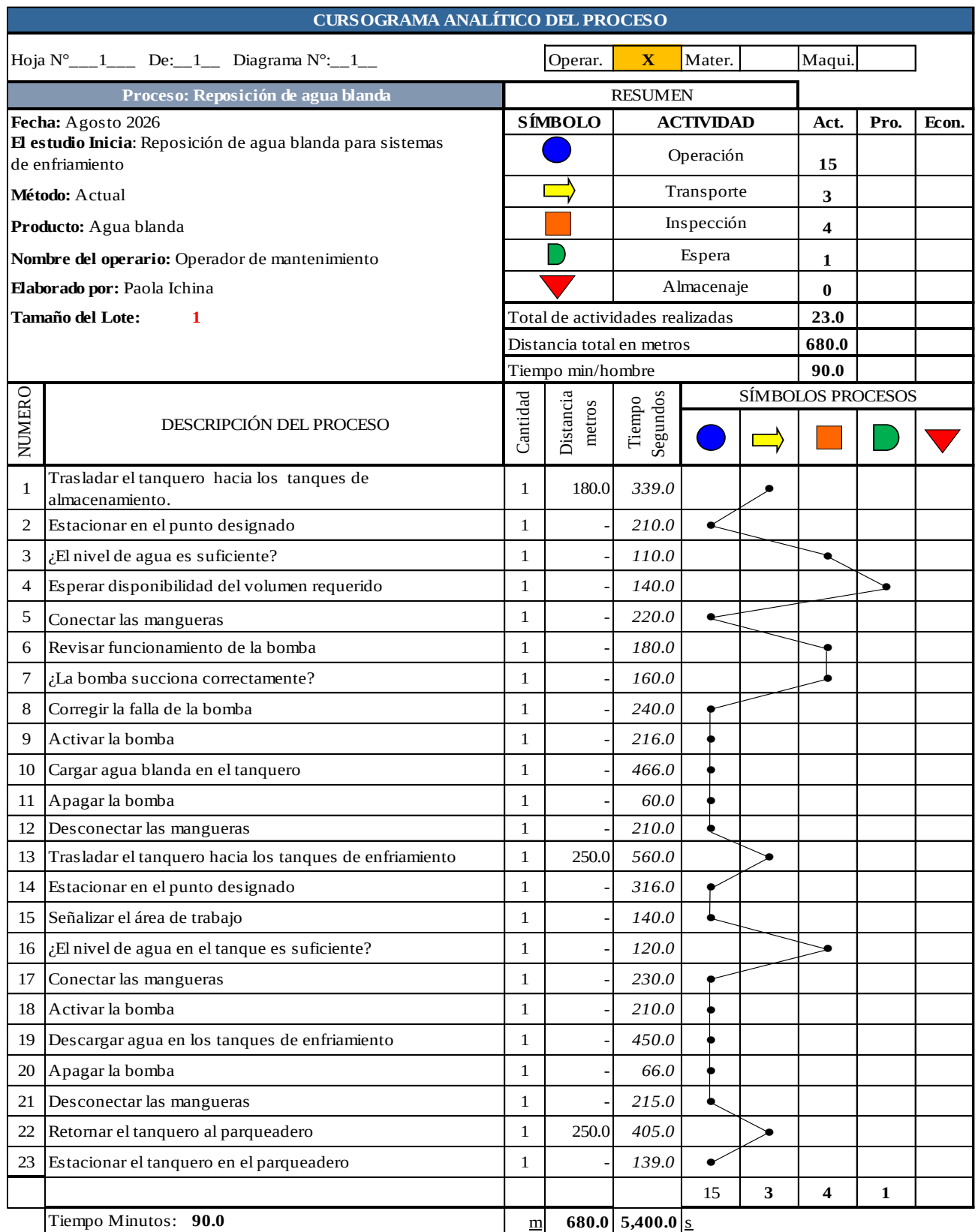
Tabla 5.3 Variación del consumo diario de agua según la temperatura ambiente.

Temperatura ambiente (°C)	Condición térmica	Factor de ajuste (Fa)	Consumo diario total (L/día)	Consumo diario por tanque (L/día)
≤ 14	Baja	0,90	360	120,00
15 – 18	Normal baja	0,95	380	126,67
19 – 22	Normal	1,00	400	133,33
23 – 26	Moderada alta	1,10	440	146,67
> 26	Alta	1,20	480	160,00

5.1.5 Cursograma analítico del proceso actual

Los tiempos fueron obtenidos mediante observación directa y registros operativos. En la Figura 5.5 se detalla el cursograma analítico del proceso actual, en el cual se describen las actividades, operaciones, inspecciones, transportes, demoras y almacenamientos que conforman el proceso de reposición de agua blanda.

Figura 5.5 Cursograma analítico del proceso actual.



5.1.6 Recursos técnicos internos

En la Tabla 5.4 se presentan los recursos técnicos internos que conforman el sistema actual de reposición de agua blanda, detallando su ubicación, capacidad y función dentro del proceso.

Tabla 5.4 Recursos técnicos internos del sistema actual de reposición de agua blanda.

Equipo	Ubicación	Capacidad / característica	Función dentro del proceso
Tanque principal de almacenamiento	Planta de pintura	18 m ³	Almacenamiento de agua blanda
Tanques de enfriamiento	Planta de soldadura	8 m ³ c/u (3 tanques)	Almacenamiento y suministro del recurso
Bomba del tanquero	Operación en planta	Integrada al tanquero	Impulsión del agua blanda durante la carga y descarga
Mangueras	Planta de mantenimiento	Flexible	Conducción del agua blanda entre equipos

5.1.6.1 Recursos técnicos externos

En la Tabla 5.5 se detallan los recursos técnicos externos que intervienen en el proceso manual de reposición de agua blanda.

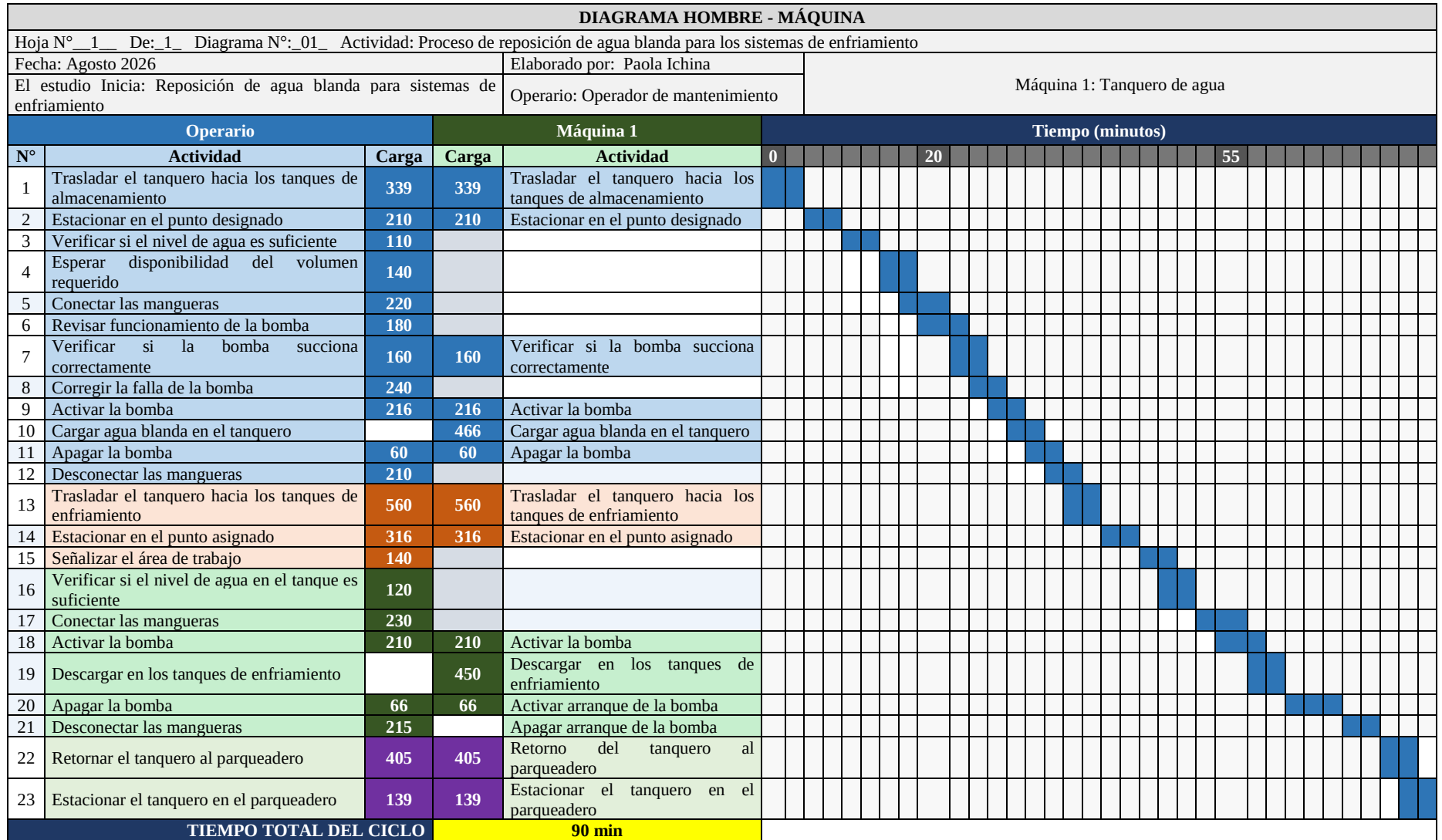
Tabla 5.5 Recursos técnicos externos utilizados

Recurso	Propietario	Capacidad / característica	Función dentro del proceso
Tanquero	Proveedor externo	10000 L	Transporte de agua blanda
Bomba de succión del tanquero	Proveedor externo	Integrada	Succión y descarga del agua blanda
Mangueras del proveedor	Proveedor externo	Flexible	Conducción del agua durante la carga y descarga

5.1.7 Análisis del proceso mediante Diagrama Hombre-Máquina

La Figura 5.6 presenta el diagrama Hombre-Máquina correspondiente al proceso de reposición de agua blanda, en el cual se detallan las actividades realizadas por el operario y el funcionamiento de la maquinaria.

Figura 5.6 Diagrama Hombre-Máquina



5.1.8 Ficha de Operaciones del Producto y Proceso

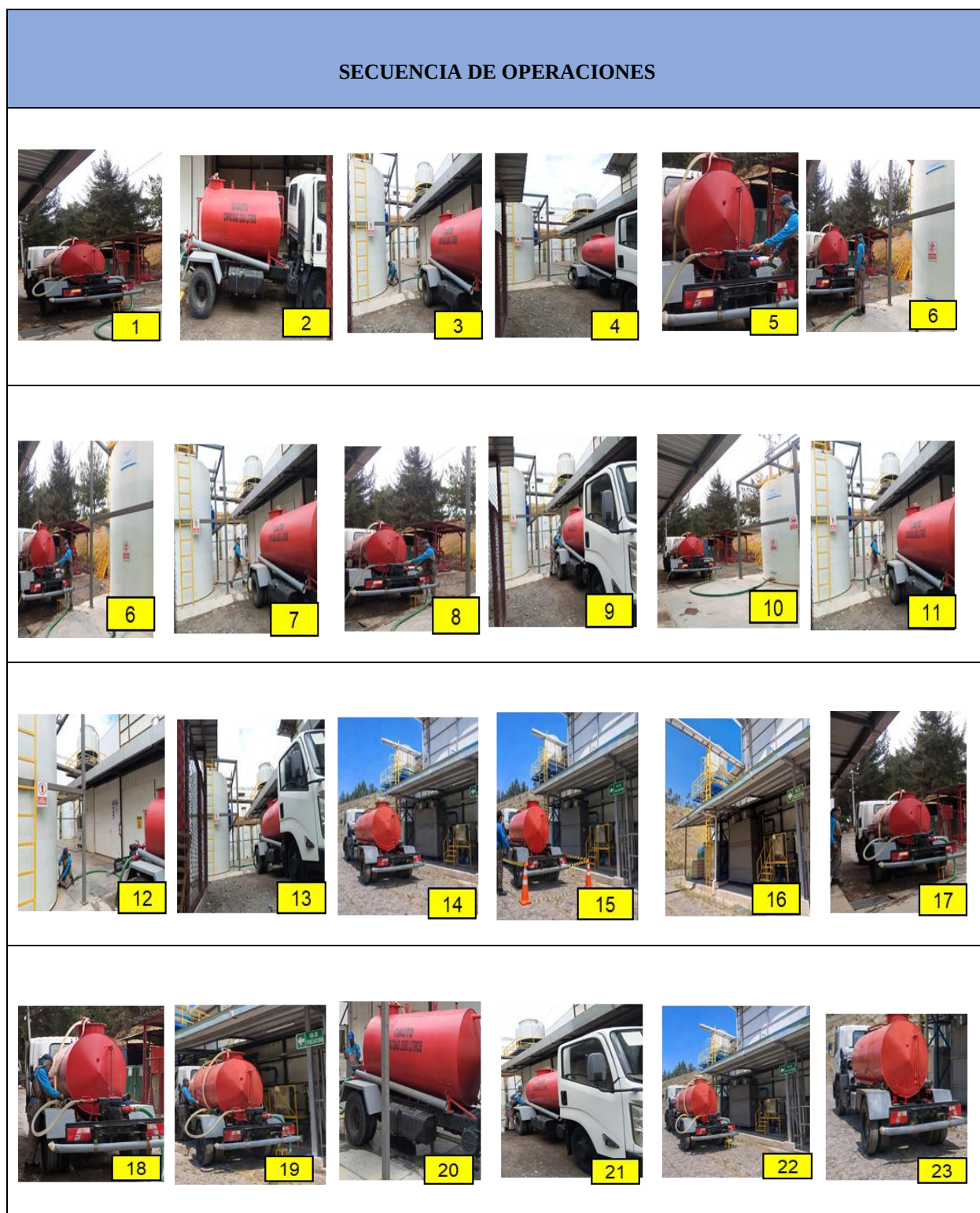
La Figura 5.7 presenta de manera detallada la ficha de operaciones del proceso actual de la reposición de agua blanda para los sistemas de enfriamiento. En ella se describen el producto/proceso, los materiales y equipos utilizados, los recursos humanos involucrados, así como la función de cada elemento dentro de la operación.

Figura 5.7 Proceso manual de suministro de agua blanda

FICHA DE OPERACIONES DEL PRODUCTO Y PROCESO	
Proceso a Estudiar: Analista de tiempos: PAOLA ICHINA Fecha del estudio: Agosto 2026 Operarios: • ÁNGEL LLUGSA	
PRODUCTO TERMINADO	DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO / PROCESO
	Proceso manual de suministro de agua tratada a los sistemas de enfriamiento para mantener la operación de los equipos y la continuidad de la producción.
	MATERIALES UTILIZADOS EN EL PROCESO • Agua blanda • Mangueras flexibles • Tanque de transporte (2000 L) • Tanque principal (18 m³) • (EPP) • Conectores y válvulas • Tanques de enfriamiento (8 m³ c/u)

En la Figura 5.8 presenta la secuencia de operaciones que intervienen en la reposición de agua blanda, describiendo paso a paso las acciones ejecutadas, los equipos, máquinas y herramientas empleadas, así como el personal responsable de cada actividad.

Figura 5.8 Caracterización del proceso de reposición de agua blanda



5.1.9 Descripción de las operaciones del proceso de reposición de agua blanda

La Figura 5.9 presenta la descripción detallada de las operaciones que conforman el proceso actual de reposición de agua blanda para los sistemas de enfriamiento.

Figura 5.9 Descripción de operaciones

DESCRIPCIÓN DE LAS OPERACIONES		SEGURIDAD INDUSTRIAL	
1	Trasladar el tanquero hacia los tanques de almacenamiento	 	
2	Estacionar en el punto designado		
3	Verificar si el nivel de agua es suficiente		
4	Esperar disponibilidad del volumen requerido		
5	Conectar las mangueras		
6	Revisar funcionamiento de la bomba		
7	Verificar si la bomba succiona correctamente		
8	Corregir la falla de la bomba		
9	Activar la bomba	 	
10	Cargar agua blanda en el tanquero		
11	Apagar la bomba		
12	Desconectar las mangueras		
13	Trasladar el tanquero hacia los tanques de enfriamiento	 	
14	Estacionar en el punto asignado		
15	Señalizar el área de trabajo		
16	Verificar si el nivel del tanque es suficiente		
17	Conectar las mangueras		
18	Activar la bomba		
19	Descargar agua en los tanques de enfriamiento		
20	Apagar la bomba		
21	Desconectar las mangueras		
22	Retornar el tanquero al parqueadero		
23	Estacionar el tanquero en el parqueadero		
PRINCIPALES MÁQUINAS - EQUIPOS - HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN EL PROCESO			
			
Tanquero interno		Tanques de almacenamiento	
			
Tanques de enfriamiento		Mangueras de conexión	

5.1.10 Costos Operativos del Proceso actual

5.1.10.1 Costos asociados al uso tanquero interno

En la Tabla 5.6 se detallan los costos anuales de consumo de combustible del proceso actual de reposición de agua blanda, para el mes de julio (2026), considerando el uso del camión

tanquero interno y la bomba de succión durante las actividades de abastecimiento a los tanques de enfriamiento.

Tabla 5.6 Costos anuales de consumo de combustible para el mes de julio 2026

Ítem	Combustible	Cantidad (gal)	Costo Unitario	N.º De Tanques	Frecuencia Anual	Costo Anual
1	Tanqueado (camión)	4	\$3,26	3	24	\$938,88
2	Tanqueado (bomba)	1	\$3,20	3	24	\$230,40
Costo anual de combustible						\$1.169,28
Costos imprevistos (10 %)						\$116,93
Costo anual total						\$1.286,21

Se considera un 10 % adicional por concepto de costos imprevistos, destinados a cubrir gastos operativos no planificados, tales como variaciones en el precio del combustible, reparaciones menores de la bomba de succión, reemplazo de accesorios (mangueras, abrazaderas y acoples) y otros gastos relacionados con la operación.

5.1.10.2 Costo de mano de obra por reposición

En la Tabla 5.7 se presenta el tiempo total empleado en el llenado manual de los tanques de agua blanda, considerando el tiempo promedio por viaje del tanquero, el número de viajes requeridos para completar un tanque de 8 m³ y el tiempo total necesario para el llenado de tres tanques desde nivel cero.

Tabla 5.7 Tiempo total empleado en el llenado manual

Ítems	Descripción	Valor	Unidad
1	Tiempo promedio por viaje (carga, traslado y descarga)	90	minutos
2	Viajes requeridos por tanque de 8 m ³	4	viajes
3	Número de tanques de enfriamiento a llenar	3	tanques
Tiempo total por tanque de 8 m ³		360	minutos
Tiempo total de llenado del sistema		1080	minutos
Tiempo total de llenado del sistema en horas		18	horas

En la Tabla 5.8 se presenta el cálculo del valor de la hora-hombre del personal involucrado en el proceso de llenado manual de los tanques de agua blanda, considerando el sueldo básico mensual y las horas laborables promedio al mes. Este valor constituye un parámetro fundamental para la estimación de los costos de mano de obra y para el análisis económico del sistema actual.

Tabla 5.8 Cálculo del valor de la hora-hombre

Concepto	Valor	Unidad
Sueldo básico mensual	482	USD/mes
Horas laborables por día	8	h/día
Número de días laborales de la semana	5	días/semanas
Numero de semanas del mes	4	semanas/mes
Horas laborables mensuales	160	h/mes
Valor de hora-hombre	3,01	\$/h

En la Tabla 5.9 se detalla el costo de mano de obra por evento de llenado de los tanques de agua blanda, calculado a partir del valor de la hora-hombre y del tiempo total requerido para completar el proceso de llenado manual. Este análisis permite cuantificar el costo operativo asociado a cada intervención y constituye un insumo clave para la evaluación económica del sistema actual.

Tabla 5.9 Costo de mano de obra por llenado.

Concepto	Valor	Unidad
Tiempo total de llenado del sistema	18	h
Costo hora de operación	\$ 3,01	USD/h
Costo por evento de llenado	\$ 54,23	USD

En la Tabla 5.10 se presenta el costo anual de mano de obra asociado al proceso de llenado manual de los tanques de agua blanda, considerando el costo por evento de llenado y la frecuencia anual con la que se realiza el proceso. Este cálculo permite estimar el impacto económico del recurso humano dentro de los costos operativos del sistema actual y sirve como referencia para la comparación con alternativas de mejora.

Tabla 5.10 Costo anual de mano de obra.

Concepto	Valor	Unidad
Frecuencia de proceso	24	viajes/año
Costo por evento de llenado	\$ 54,23	USD
Costo anual de mano de obra	\$ 1.301,62	USD/año

El cálculo corresponde al proceso actual de llenado de tres tanques de 8 m³ desde cero, considerando un solo operario y sin automatización del sistema.

5.1.10.3 Costos de mantenimiento del proceso actual

5.1.10.4 Costo anual de operación.

La Tabla 5.11 presenta el costo anual de operación por operador, mostrando el total de \$2,549, que resume los principales gastos en mano de obra, combustible y mantenimiento.

Tabla 5.11 Costo anual de operación manualmente.

Componente de Costos	Valor Anual (USD)
Mano de obra (hora-hombre)	\$ 1.301,62
Combustible	\$ 1.286,21
Mantenimiento del vehículo	\$ 500,00
Costo Total Anual de Operación	\$ 3.087,83

5.1.11 Identificación de limitaciones del sistema actual

El sistema de almacenamiento y suministro de agua blanda en la empresa presenta varias limitaciones que afectan su eficiencia y confiabilidad. Estas limitaciones se clasifican en técnicas, operativas y de gestión, siendo necesario identificarlas para planificar mejoras en el proceso de reposición y asegurar la continuidad de la producción.

5.1.11.1 Limitaciones técnicas

El análisis del proceso de reposición de agua blanda en la planta de soldadura de CIAUTO CIA. LTDA. evidencia varias limitaciones técnicas que afectan la eficiencia, confiabilidad y continuidad del sistema. La Tabla 5.12 presenta un análisis de las principales limitaciones técnicas del sistema manual de reposición y almacenamiento de agua blanda actualmente utilizado en la empresa. Limitaciones técnicas del sistema actual.

Elemento técnico	Condición actual	Limitación identificada	Impacto en el proceso
Tanque principal	18 m ³	Capacidad limitada	Riesgo de desabastecimiento
Tanques de enfriamiento	3 × 8 m ³	Dependencia del tanque principal	Bajo margen de seguridad
Sistema de bombeo	Manual	Ausencia de control automatizado	Reposición imprecisa
Instrumentación	Inexistente	Inexistencia de un sistema de monitoreo continuo en tiempo real	Detección tardía de niveles críticos
Infraestructura hidráulica	Básica	Bajo nivel de automatización del sistema hidráulico	Pérdidas y mantenimiento frecuente
Calidad del agua	Control no continuo	Falta de seguimiento de parámetros	Afectación a equipos

Tabla 5.12 Análisis de las principales limitaciones técnicas

5.1.11.2 Limitaciones operativas

La Tabla 5.13 presenta las principales limitaciones operativas del sistema manual de reposición de agua blanda actualmente utilizado en la empresa Ciudad del Auto CIA LTDA (CIAUTO). En esta tabla se analizan aspectos relacionados con la ejecución del proceso, la dependencia del factor humano, la frecuencia de reposición, la ausencia de procedimientos operativos estandarizados y la falta de registros sistemáticos.

Tabla 5.13 Limitaciones operativas del sistema actual.

Aspecto operativo	Condición actual	Limitación	Consecuencia
Método de reposición	Manual	Dependencia del operador	Variabilidad del proceso
Frecuencia	Cada 2 semanas	No basada en datos	Riesgo de reposición tardía
Procedimientos	No estandarizados	Falta de control	Errores operativos
Registros	Limitados o inexistentes	Sin trazabilidad	Difícil análisis del consumo
Uso de personal	Intensivo	Tiempo improductivo por el operador	Menor eficiencia

5.1.11.3 Limitaciones logísticas

La Tabla 5.14 expone las principales limitaciones logísticas del sistema manual de reposición de agua blanda en la empresa Ciudad del Auto CIA LTDA (CIAUTO). En esta tabla se identifican restricciones asociadas a la disponibilidad del tanquero interno, la planificación reactiva del abastecimiento, la coordinación informal entre las áreas involucradas y la dependencia del transporte interno manual.

Tabla 5.14 Limitaciones logísticas del sistema actual.

Aspecto logístico	Condición actual	Limitación	Impacto
Tanquero	Recurso compartido	Disponibilidad limitada	Retrasos en reposición
Planificación	Reactiva	Sin programación	Riesgo de desabastecimiento
Coordinación entre áreas	Informal	Falta de integración	Tiempos muertos
Transporte interno	Manual	Alta dependencia operativa	Pérdidas operativas

En conjunto, las limitaciones técnicas, operativas y logísticas identificadas evidencian que el sistema actual de reposición de agua blanda en CIAUTO no garantiza una operación eficiente ni confiable, lo que justifica la necesidad de implementar mejoras orientadas a la automatización, optimización de recursos y fortalecimiento de la gestión del proceso.

5.2 DISEÑO DE UNA PROPUESTA DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO

5.2.1 Diagrama de flujo del proceso actual

La Figura 5.10 presenta el diagrama de flujo del proceso del sistema automatizado propuesto para la reposición de agua blanda en los sistemas de enfriamiento.

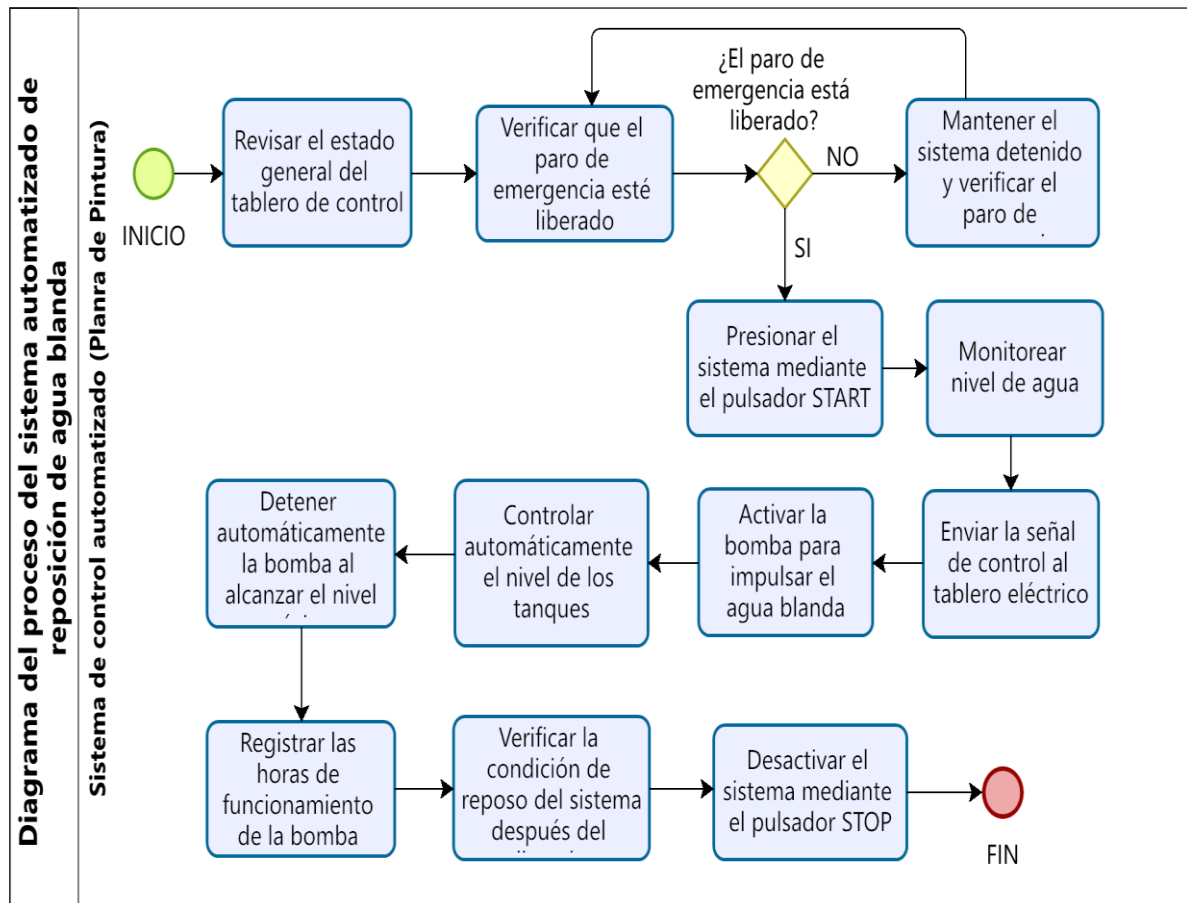


Figura 5.10 Diagrama de flujo del proceso actual

5.2.2 Jerarquización de criterios de selección de la bomba

La Tabla 5.15 presenta las alternativas de bombas consideradas para el sistema automatizado de reposición de agua blanda, las cuales serán evaluadas mediante criterios técnicos y económicos con el propósito de determinar la opción que mejor se adapte a los requerimientos de operación del sistema

Tabla 5.15 Alternativas de bombas consideradas

Alternativa	Modelo de bomba
Bomba A	Goulds NPE 2ST1G2C4
Bomba B	ZS50-32-160/6
Bomba C	Goulds NPE 3SN1H5F6F

La Tabla 5.16 presenta los cálculos para la Bomba A (Goulds NPE 2ST1G2C4)

Criterio	Ponderación	Calificación Bomba A	Cálculo	Resultado
Caudal requerido	25%	4	$4 \times 0,25$	1,00
Altura manométrica	25%	4	$4 \times 0,25$	1,00
Potencia	10%	4	$4 \times 0,10$	0,40
Eficiencia	15%	4	$4 \times 0,15$	0,60
Costo de adquisición	10%	5	$5 \times 0,10$	0,50
Mantenimiento	5%	4	$4 \times 0,05$	0,20
Confiabilidad	10%	4	$4 \times 0,10$	0,40
TOTAL	100%	—	Σ	4,10

Tabla 5.16 Cálculos para la Bomba A

La Tabla 5.17 presenta los cálculos para la Bomba B (ZS50-32-160/6)

Criterio	Ponderación	Calificación Bomba B	Cálculo	Resultado
Caudal requerido	25%	5	$5 \times 0,25$	1,25
Altura manométrica	25%	5	$5 \times 0,25$	1,25
Potencia	10%	5	$5 \times 0,10$	0,50
Eficiencia	15%	5	$5 \times 0,15$	0,75
Costo de adquisición	10%	3	$3 \times 0,10$	0,30
Mantenimiento	5%	4	$4 \times 0,05$	0,20
Confiabilidad	10%	5	$5 \times 0,10$	0,50
TOTAL	100%	—	Σ	4,75

Tabla 5.17 Cálculos para la Bomba B

La Tabla 5.18 presenta los cálculos para la Bomba C (Goulds NPE 3SN1H5F6F)

Criterio	Ponderación	Calificación Bomba C	Cálculo	Resultado
Caudal requerido	25%	3	$3 \times 0,25$	0,75
Altura manométrica	25%	3	$3 \times 0,25$	0,75
Potencia	10%	3	$3 \times 0,10$	0,30
Eficiencia	15%	3	$3 \times 0,15$	0,45
Costo de adquisición	10%	4	$4 \times 0,10$	0,40
Mantenimiento	5%	3	$3 \times 0,05$	0,15
Confiabilidad	10%	3	$3 \times 0,10$	0,30
TOTAL	100%	—	Σ	3,10

Tabla 5.18 Cálculos para la Bomba C

La Tabla 5.19 presenta la matriz de ponderación para la selección de la bomba, en la cual se comparan las alternativas consideradas mediante criterios técnicos y económicos previamente establecidos.

Tabla 5.19 Matriz de ponderación para la selección de la bomba

Criterio	Ponderación (%)	Bomba A	Bomba B	Bomba C
Caudal requerido	25	4	5	3
Altura manométrica	25	4	5	3
Potencia	10	4	5	3
Eficiencia	15	4	5	3
Costo	10	5	3	4
Mantenimiento	5	4	4	3
Confiabilidad	10	4	5	3
Total, ponderado	100%	4,10	<u>4,75</u>	3,10

5.2.2.1 Selección de la bomba centrífuga

Luego del análisis de criterios de selección, se determinó que la bomba centrífuga monoetapa horizontal ZS50-32-160/6, fabricada en acero inoxidable, presenta características hidráulicas adecuadas para el proceso de reposición de agua blanda. En la Tabla 5.20 presenta las características de la bomba centrífuga.

Tabla 5.20 Características de la bomba centrífuga

Característica	Bomba Centrífuga Monoetapa Horizontal ZS50-32-160/6
Tipo de bomba	Centrífuga monoetapa horizontal
Material	Acero inoxidable
Caudal aproximado	6 – 200 m ³ /h
Altura manométrica	Hasta 70 m
Potencia del motor	1.1 – 2.2 kW
Velocidad	2900 rpm
Aplicación	Sistemas industriales, enfriamiento, transferencia de agua
Adecuación al sistema de enfriamiento	Alta
Selección para el proyecto	Seleccionada

5.2.2.2 Elementos del sistema de bombeo

La Tabla 5.21 resume las principales características operativas y eléctricas de la bomba centrífuga monoetapa horizontal. Estos parámetros permiten verificar que el equipo cumple con los requerimientos de caudal, presión y potencia necesarios para garantizar un funcionamiento eficiente, seguro y confiable del sistema.

Tabla 5.21 Características técnicas de la bomba seleccionada

Parámetro	Valor
Tipo de bomba	Centrífuga monoetapa horizontal
Material	Acero inoxidable
Modelo	ZS50-32-160/6
Caudal nominal	6.3 m ³ /h
Altura manométrica	18 m
Velocidad	3450 rpm
Potencia del motor	1.1 kW
Tensión	220 / 380 V
Frecuencia	60 Hz
Grado de protección	IP55
Eficiencia	IE3 – 84 %

En la siguiente Tabla 5.22 se presenta la clasificación general de las válvulas empleadas en sistema propuesto, describiendo su tipo, grupo funcional y función principal.

Tabla 5.22 Clasificación de las válvulas utilizadas en el sistema de reposición.

Válvula	Tipo de válvula	Grupo funcional	Función principal en el sistema
Válvula esférica	Válvula de bola (esférica)	Válvulas de cierre	Permite el cierre y apertura rápida del flujo de agua para operaciones de mantenimiento o control manual del sistema.
Válvula flotadora	Válvula de flotador	Válvulas de control de nivel	Regula automáticamente el nivel de agua en el tanque de reposición, evitando sobrellenados y pérdidas de agua.

- **Tuberías**

En la Tabla 5.23 se detallan las principales especificaciones técnicas de las tuberías de PVC utilizadas en el sistema de reposición de agua blanda para los sistemas de enfriamiento.

Tabla 5.23 Especificaciones técnicas de tuberías PVC para el sistema de reposición

Ítem	Descripción del material	Diámetro nominal	Marca	Cédula	Presión de trabajo
1	Tubo PVC hidráulico	1½ pulgadas	Tubytect	CED 40	330 PSI
2	Tubo PVC hidráulico	1 pulgada	Tubytect	CED 40	450 PSI

5.2.3 Elementos utilizados para la optimización del sistema de eléctrico

5.2.3.1 Sistema de control

La Figura 5.11 presenta el tablero de control correspondiente al sistema automatizado de bombeo, en el cual se integran los elementos de mando, protección y control necesarios para garantizar el funcionamiento automático de la bomba.

Figura 5.11 Tablero de control del sistema automatizado de bombeo



La Tabla 5.24 presenta los principales elementos que conforman el tablero de control propuesto para el sistema de reposición de agua blanda de las torres de enfriamiento.

Tabla 5.24 Elementos del tablero de control para el sistema propuesto

N.º	Elemento	Función dentro del sistema	Forma de operación
1	Paro de emergencia 	Permite detener inmediatamente el funcionamiento del sistema ante una condición de riesgo o emergencia.	Al presionarlo, interrumpe el circuito de control y provoca la detención de la bomba.
2	Pulsador START (verde) 	Permite iniciar el funcionamiento del sistema de bombeo.	Al ser accionado, envía la señal al circuito de control para energizar el contactor y poner en marcha la bomba.
3	Pulsador STOP (rojo) 	Permite detener el funcionamiento normal de la bomba.	Al presionarlo, abre el circuito de mando, desenergizando el contactor y deteniendo el motor.
4	Horómetro 	Registra las horas acumuladas de funcionamiento de la bomba.	Se activa durante el funcionamiento de la bomba y permite llevar un registro para control y mantenimiento.

5.2.4 Diagrama P&ID del sistema propuesto para la reposición de agua blanda

La Figura 5.12 muestra el diagrama de tuberías e instrumentación (P&ID) del sistema propuesto para la reposición y distribución de agua blanda hacia los sistemas de enfriamiento de las plantas de soldadura y pintura. La representación de los instrumentos, dispositivos de control y sus respectivas identificaciones se realizó tomando como referencia la norma ANSI/ISA 5.1, con el propósito de mantener una representación gráfica estandarizada y facilitar la interpretación del funcionamiento del sistema.

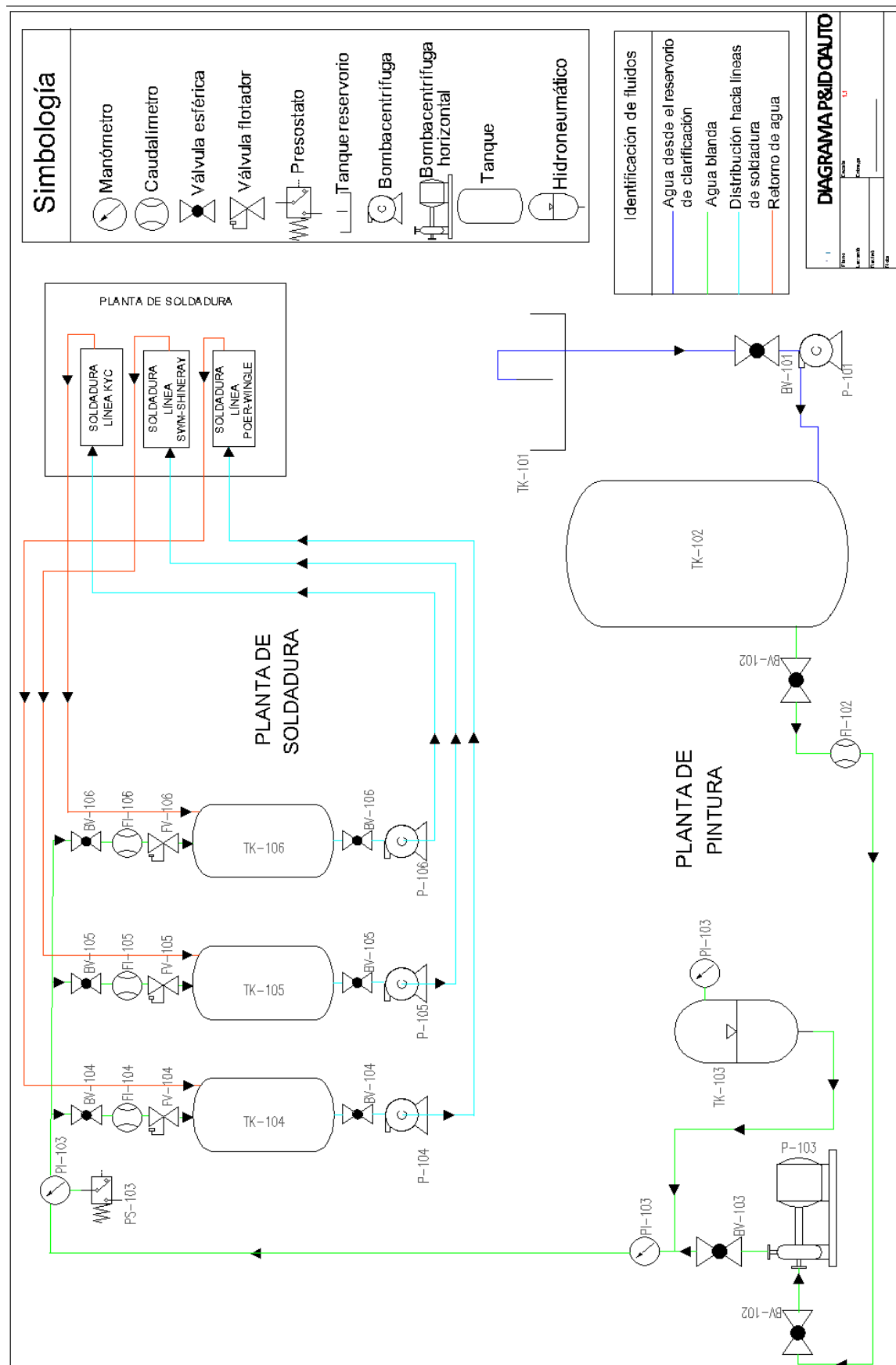


Figura 5.12 Plano de implementación del sistema de reposición de agua blanda

5.2.5 Tuberías

5.2.5.1 Jerarquización de criterios de selección de la bomba

La Tabla 5.25 presenta las alternativas de bombas consideradas para el sistema automatizado de reposición de agua blanda, las cuales serán evaluadas mediante criterios técnicos y económicos con el propósito de determinar la opción que mejor se adapte a los requerimientos de operación del sistema

Tabla 5.25 Alternativas de bombas consideradas

Alternativa	Tipo de tubería
A	PVC SCH 40
B	Tubería acero galvanizado
C	Tubería HDPE

La Tabla 5.26 presenta los cálculos tubería tipo PVC SCH40

Tabla 5.26 Cálculo para PVC SCH 40

Criterio	Ponderación	Calificación PVC	Cálculo	Resultado
Resistencia a la presión	25 %	4	$4 \times 0,25$	1,00
Resistencia a la corrosión	20 %	5	$5 \times 0,20$	1,00
Facilidad de instalación	15 %	5	$5 \times 0,15$	0,75
Costo de adquisición	15 %	5	$5 \times 0,15$	0,75
Mantenimiento	10 %	5	$5 \times 0,10$	0,50
Disponibilidad	10 %	5	$5 \times 0,10$	0,50
Compatibilidad	5 %	5	$5 \times 0,05$	0,25
TOTAL	100 %	—	Σ	4,75

La Tabla 5.27 presenta los cálculos tubería tipo acero galvanizado

Tabla 5.27 Cálculos para acero galvanizado

Criterio	Ponderación	Calificación	Cálculo	Resultado
Resistencia a la presión	25 %	5	$5 \times 0,25$	1,25
Resistencia a la corrosión	20 %	3	$3 \times 0,20$	0,60
Facilidad de instalación	15 %	3	$3 \times 0,15$	0,45
Costo de adquisición	15 %	3	$3 \times 0,15$	0,45
Mantenimiento	10 %	3	$3 \times 0,10$	0,30
Disponibilidad	10 %	4	$4 \times 0,10$	0,40
Compatibilidad	5 %	4	$4 \times 0,05$	0,20
TOTAL	100 %	—	Σ	3,65

La Tabla 5.28 presenta los cálculos para tubería tipo HDPE.

Tabla 5.28 Cálculos para tubería HDPE

Criterio	Ponderación	Calificación	Cálculo	Resultado
Resistencia a la presión	25 %	5	$5 \times 0,25$	1,25
Resistencia a la corrosión	20 %	5	$5 \times 0,20$	1,00
Facilidad de instalación	15 %	4	$4 \times 0,15$	0,60
Costo de adquisición	15 %	4	$4 \times 0,15$	0,60
Mantenimiento	10 %	4	$4 \times 0,10$	0,40
Disponibilidad	10 %	4	$4 \times 0,10$	0,40
Compatibilidad	5 %	5	$5 \times 0,05$	0,25
TOTAL	100 %	—	Σ	4,50

La Tabla 5.29 presenta la matriz de ponderación para la selección de la bomba, en la cual se comparan las alternativas consideradas mediante criterios técnicos y económicos previamente establecidos.

Tabla 5.29 Matriz de ponderación para la selección de tuberías

Criterio	Ponderación (%)	Bomba A	Bomba B	Bomba C
Resistencia a la presión	25	4	5	3
Altura manométrica	20	4	5	3
Potencia	15	4	5	3
Eficiencia	15	4	5	3
Costo	10	5	3	4
Mantenimiento	5	4	4	3
Confiabilidad	10	4	5	3
Total, ponderado	100%	4,10	4,65	3,05

Tuberías plásticas (PVC)

La Tabla 5.30 detalla el material, los diámetros nominales y la función de cada tramo del sistema. Esta información permite visualizar de manera clara la configuración adoptada y facilita la verificación del cumplimiento de los requerimientos hidráulicos y operativos del sistema.

Tabla 5.30 Selección de tuberías del sistema de reposición automatizada

Tramo del sistema	Material	Diámetro nominal	Función principal	Criterio técnico de selección
Succión	PVC hidráulico (PVC-U)	1"	Alimentación de la bomba	Garantiza un flujo continuo hacia la bomba, minimiza pérdidas de carga y reduce el riesgo de cavitación
Descarga	PVC hidráulico (PVC-U)	1 ½"	Impulsión hacia el sistema de enfriamiento	Reduce la velocidad del fluido, disminuye pérdidas por fricción y mejora la eficiencia hidráulica

5.2.5.2 Caudal de la tubería

- Datos del sistema**

La siguiente Tabla 5.31 presenta los datos principales del sistema de reposición automatizada de agua blanda, incluyendo el volumen a reponer por tanque, el número de tanques, el tiempo de reposición y los diámetros de las tuberías utilizadas (1" y 1 ½").

Tabla 5.31 Datos del sistema principales del sistema.

Parámetro	Valor	Unidad
Volumen por tanque (V)	8	m ³
Volumen del tanque principal	18	m ³
Número de tanques	3	viajes
Tiempo de reposición por tanque (t)	90	min
Tiempo total de llenado de tanque de 8m ³	360	min
Diámetro tubería 1"	0,0254	m
Diámetro tubería 1 ½"	0,0381	m

- **Caudal requerido por tanque:** Ecuación (3.9):

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$Q = \frac{8\text{m}^3}{360 \text{ min}}$$

$$Q = 0,022 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

Convertido a litros por segundo:

$$Q = 0,022 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} * \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} * \frac{1\text{min}}{60\text{s}} = Q = 0,36 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

Convertido a m³por segundo:

$$Q = 0,022 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} * \frac{1\text{min}}{60\text{s}} = Q = 0,00036 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

- **Área de las tuberías :** Ecuación (3.10):

•

- Tubería 1" (D = 0,0254 m)

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

$$A = \frac{\pi * (0,0254\text{m})^2}{4}$$

$$A = 0,00050 \text{ m}^2$$

- Tubería 1½" (D = 0,0381 m)

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

$$A = \frac{\pi * (0,0381\text{m})^2}{4}$$

$$A = 0,00114 \text{ m}^2$$

- **Velocidad del flujo en la tubería:** Ecuación (3.11):

- Tubería 1” (A = 0,000506 m²)

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$v = \frac{0,00036 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,00050 \text{ m}^2}$$

$$v = 0,72 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- Tubería 1½” (A = 0,00114 m²)

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$v = \frac{0,00036 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,00114 \text{ m}^2}$$

$$v = 0,31 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

5.2.1 Cálculo de altura manométrica total para el sistema

La Tabla 5.32 presenta los datos actualizados del sistema propuesto, los cuales se utilizan para el cálculo de la altura manométrica total, presión de la bomba y potencia requerida del sistema.

Tabla 5.32 Datos del sistema de reposición

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Altura estática	(H_e)	18	m
Longitud total de la tubería	(L)	201	m
Diámetro interno de la tubería	(D)	0,022	m
Material de la tubería	—	PVC	—
Caudal del sistema	(Q)	0,00163	m ³ /s
Velocidad del flujo	(v)	0,31	m/s
Factor de fricción	(f)	0,02	—
Número de codos de 90°	—	26	—
Coeficiente de pérdida por codo	(K)	0,9	—
Número de codos de 45°	—	2	—
Coeficiente de pérdida por codo	(K)	0,40	—
Número de codos de Tee	—	3	—
Coeficiente de pérdida por codo	(K)	0,60	—
Acople	—	9	—
Coeficiente de pérdida por acople	(K)	0,04	—
Número de válvulas esférica	—	6	—
Coeficiente de pérdida por válvula esférica	(K)	0,05	—
Número de válvulas flotador	—	3	—
Coeficiente de pérdida por válvula flotador	(K)	2	—
Aceleración de la gravedad	(g)	9,81	m/s ²

- Altura estática (H_e)

La altura estática corresponde a la diferencia de nivel entre el tanque principal de almacenamiento y los tanques de reposición:

$$H_e = 18 \text{ m}$$

- Pérdidas de carga por fricción (H_f)

Se calculan mediante la ecuación de Darcy–Weisbach: Ecuación (3.3):

$$H_f = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

$$H_f = 0,02 * \frac{201\text{m}}{0,0381\text{m}} * \frac{\left(0,31 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2(9,81)}$$

$$H_f = 0,51 \text{ m}$$

- Pérdidas de accesorios (H_l)

- 26 codos de 90°

$$K = 0,9 \rightarrow 26 * 0,9 = 23,4$$

- 2 codos de 45°

$$K = 0,4 \rightarrow 2 * 0,4 = 0,8$$

- 3 codos Tee

$$K = 0,6 \rightarrow 3 * 0,6 = 1,8$$

- 6 válvulas esférica

$$K = 0,05 \rightarrow 6 * 0,05 = 0,3$$

- 3 válvulas flotador

$$K = 2 \rightarrow 3 * 2 = 6$$

- 9 acoples

$$K = 0,04 \rightarrow 9 * 0,04 = 0,36$$

- Coeficiente total

$$\sum K = 23,4 + 0,8 + 1,8 + 0,3 + 6 + 0,36 = 32,66$$

- Cálculo: Ecuación (3.4):

$$H_l = \sum K \cdot \frac{v^2}{2g}$$

$$H_l = \sum K \cdot \frac{v^2}{2g}$$

$$H_l = 32,66 \cdot \frac{\left(0,31 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2(9,81)}$$

$$H_l = 0,16 \text{ m}$$

- Altura Manométrica Total (HMT): Ecuación (3.5):

$$HMT = H_e + H_f + H_l$$

$$HMT = 18\text{m} + 0,51\text{m} + 0,16\text{m}$$

$$HMT = 18,67 \text{ m}$$

La altura manométrica total requerida para el sistema de reposición automatizada de agua blanda es de 18,67 m, valor que incluye el desnivel geométrico, las pérdidas de carga por fricción y las pérdidas localizadas generadas por los accesorios del sistema.

5.2.2 Presión de la bomba

La Tabla 5.33 presenta los datos utilizados para el cálculo de la presión de la bomba del sistema de reposición de agua blanda.

Tabla 5.33 Datos utilizados para el cálculo de la presión de la bomba.

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Altura manométrica total	HMT	18,67	m
Densidad del agua	ρ	1000	kg/m ³
Aceleración de la gravedad	g	9,81	m/s ²

La presión se calcula a partir de la siguiente expresión: Ecuación (3.6):

$$\begin{aligned}
 P &= \rho \cdot g \cdot HMT \\
 P &= 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 18,67 \text{ m} \\
 P &= 183.152,7 \text{ Pa} \\
 P &= 183,15 \text{ kPa} \approx 1,83 \text{ bar}
 \end{aligned}$$

La presión requerida por la bomba para el correcto funcionamiento del sistema de reposición automatizada de agua blanda es aproximadamente 1,83 bar, valor suficiente para vencer la altura manométrica total del sistema y garantizar una operación estable y eficiente del equipo de bombeo.

5.2.3 Potencia del motor

Para determinar la potencia del motor, se considera la eficiencia del sistema bomba–motor. En sistemas industriales de este tipo, la eficiencia del motor eléctrico se adopta en un valor del 84%, de acuerdo con las características técnicas del equipo seleccionado. Este valor permite estimar de manera adecuada la potencia requerida por el motor para garantizar el funcionamiento eficiente del sistema.

Cálculo: Ecuación (3.7):

$$\begin{aligned}
 P_m &= \frac{P_h}{\eta} \\
 P_m &= \frac{478 \text{ W}}{0,84} \\
 P_m &= 569 \text{ W}
 \end{aligned}$$

5.2.4 Potencia hidráulica

La potencia hidráulica se calcula mediante la siguiente expresión:

Cálculo: Ecuación (3.8):

$$\begin{aligned}
 P_h &= \rho \cdot g \cdot Q \cdot HMT \\
 P_h &= 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,022 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 18,67 \text{ m} \\
 P_h &= 4029 \text{ W}
 \end{aligned}$$

5.2.5 Tiempo de reposición automatizado

En la planta de soldadura, se cuenta con tres tanques, cada uno con un volumen de 8 m³, destinados a la reposición de agua blanda para los sistemas de enfriamiento. El caudal de la bomba se consideró el Q= 6.3m³/h. El tiempo de reposición se calcula mediante la relación entre el volumen a reponer y el caudal del sistema, según la siguiente fórmula: Ecuación (3.12):

$$t = \frac{V}{Q}$$
$$t = \frac{8\text{m}^3}{6,3 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}$$
$$t = 1,27 \text{ h}$$

Convertido a minutos:

$$t = 1,27 \text{ h} \cdot \frac{60\text{min}}{\text{h}} = 76 \text{ min}$$

Convertido los minutos para los 3 tanques de 8m³

$$76 \text{ min} \cdot 3 \text{ tanques} = 228 \text{ min}$$

5.2.6 Diagrama de simulación en Cade Simu

Esta simulación permite comprobar la correcta lógica de funcionamiento del sistema, así como la interacción entre bombas, sensores y elementos de protección. Mediante Cade Simu se representaron los circuitos eléctricos de mando y potencia, incorporando dispositivos como contactores, relés, fuentes de alimentación de 24 VDC, sensores de nivel y señales de control del sistema neumático y eléctrico. La Figura 5.13 muestra el diagrama eléctrico correspondiente al circuito de potencia y al circuito de control utilizados en el proyecto.

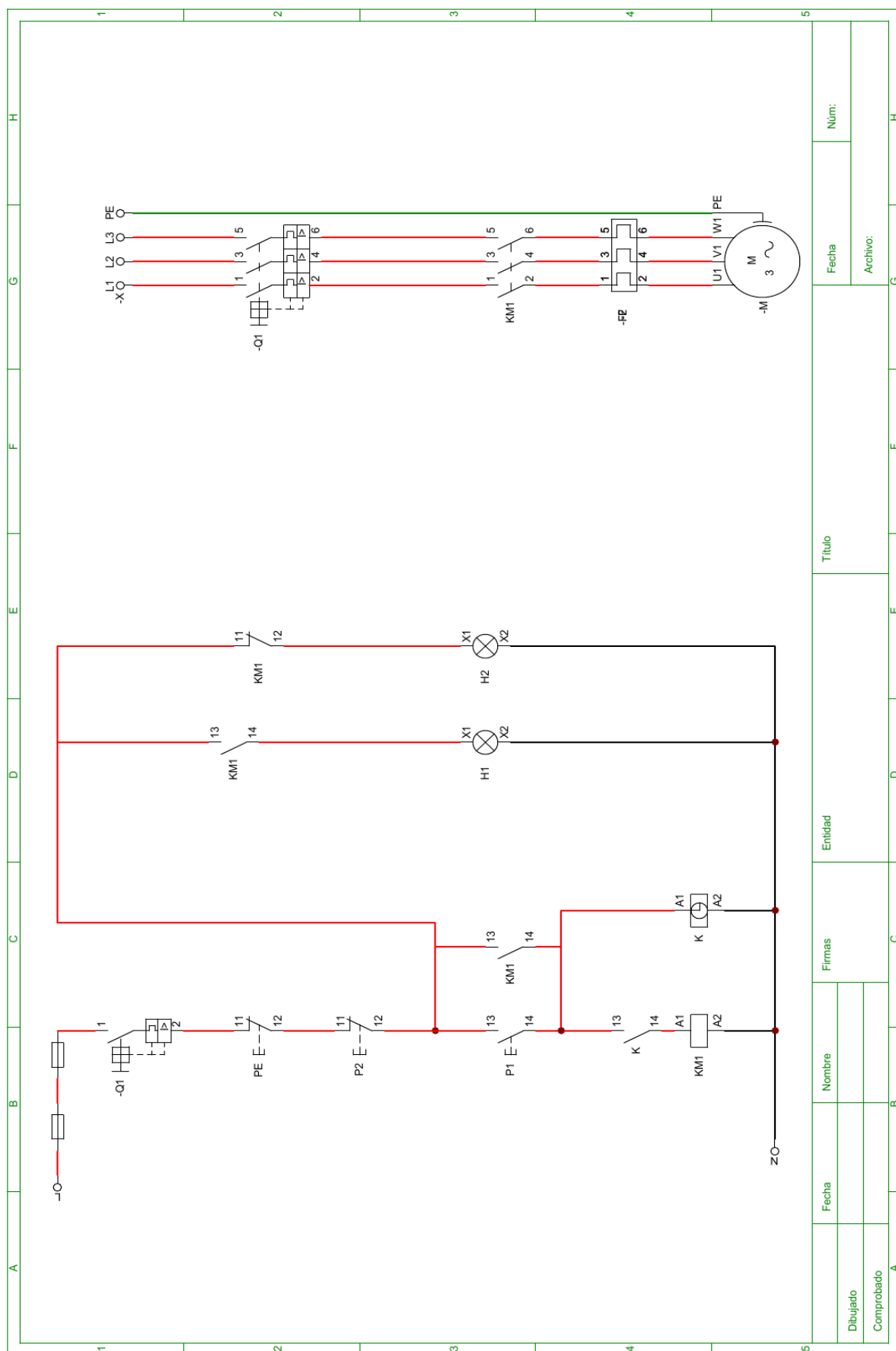


Figura 5.13 Diagrama del circuito de potencia y circuito de control del sistema

5.3 TERCER OBJETIVO ESPECÍFICO

5.3.1 Cursograma analítico propuesto

La Figura 5.14 presenta el cursograma analítico correspondiente al sistema propuesto de reposición de agua blanda. En este se detallan las actividades que intervienen en el proceso automatizado, especificando el tipo de actividad, el responsable de su ejecución y el tiempo empleado, permitiendo analizar las mejoras obtenidas respecto al proceso actual mediante la implementación del sistema de control automatizado.

CURSOGRAMA ANALÍTICO DEL SISTEMA PROPUESTO											
Hoja N° 1 De: 1 Diagrama N°: 1				Operar		X		Mater.		Maqui.	
Proceso: Reposición de agua blanda				RESUMEN							
Fecha: Agosto 2026				SÍMBOLO		ACTIVIDAD		Act.		Pro. Econ.	
El estudio Inicia: Sistema propuesto para los sistemas de enfriamiento						Operación		5			
Método: Actual						Transporte		1			
Producto: Agua blanda						Inspección		5			
Nombre del operario: Operador de mantenimiento						Espera		0			
Elaborado por: Paola Ichina						Almacenaje		0			
Tamaño del Lote: 1				Total de actividades realizadas				11.0			
				Distancia total en metros				30.0			
				Tiempo min/hombre				2.95			
NUMER	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO			Cantidad	Distancia metros	Tiempo Segundos	SÍMBOLOS PROCESOS				
											
1	Verificar el estado general del tablero de control			1	20.0	30.0					
2	Verificar que el paro de emergencia esté liberado			1	-	20.0					
3	Activar el sistema mediante el pulsador START			1	-	5.0					
4	Detectar automáticamente el nivel bajo de agua			1	-	10.0					
5	Enviar la señal de control al tablero eléctrico			1	-	10.0					
6	Impulsar agua blanda por la tubería principal			1	-	12.0					
7	Controlar el nivel de cada tanque mediante las válvulas de flotador			1	-	40.0					
8	Cerrar automáticamente el suministro al alcanzar el nivel máximo			1	10.0	17.0					
9	Registrar automáticamente las horas de funcionamiento de la bomba mediante el horómetro			1	-	5.0					
10	Detener automáticamente la bomba al finalizar el llenado			1	-	18.0					
11	Desactivar el sistema mediante el pulsador STOP			1	-	10.0					
							5	1	5		
Tiempo Minutos:		2.95		m	30.0	177.0	s				

Figura 5.14 Cursograma analítico propuesto

5.3.2 Evaluación del tiempo de reposición del sistema actual y propuesto

Para verificar la reducción del tiempo de reposición, se compararon los valores obtenidos en el sistema actual frente al sistema propuesto, considerando tanto los procesos manuales como las mejoras implementadas mediante automatización.

- **Datos recopilados**

La Tabla 5.34 presenta los tiempos de reposición del sistema actual y propuesto de la optimización del proceso, permitiendo comparar ambos escenarios y evaluar la reducción del tiempo de reposición como resultado de las mejoras implementadas.

Tabla 5.34 Tiempos de reposición del sistema

Indicador	Sistema actual	Sistema Propuesto
Tiempo de reposición (min)	1080 min	228 min

- **Cálculo de la reducción del tiempo de reposición**

Cálculo: Ecuación (3.13):

$$\Delta T = t_a - t_o$$

$$\Delta T = 1080min - 228min$$

$$\Delta T = 852 min$$

5.3.3 Diagrama comparativo del tiempo de reposición

El diagrama de barras muestra una disminución significativa del tiempo de reposición del sistema tras la optimización del proceso, pasando de 360 min a 76 min. La Figura 5.15 presenta un diagrama de barras comparativo que permite visualizar de forma clara la magnitud de la mejora alcanzada.

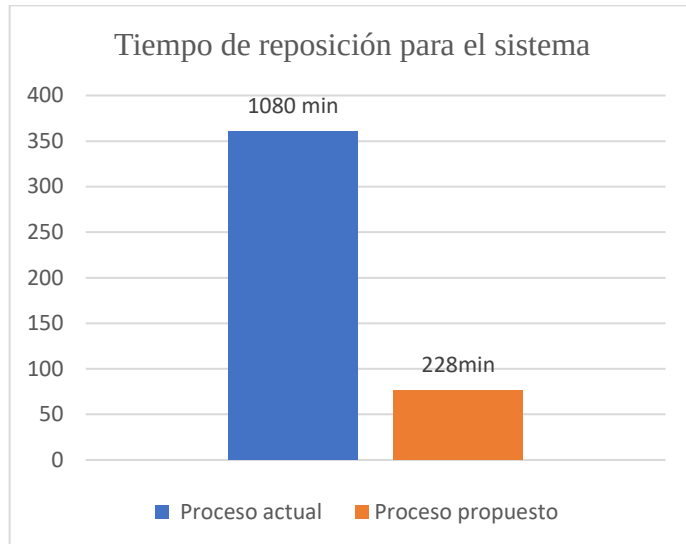


Figura 5.15 Comparación del tiempo de reposición del sistema actual y propuesto

5.3.4 Cálculo del Costo Total del Sistema Optimizado

a) Datos del sistema

- Potencia del motor (P): 1,1 kW
- Tiempo de funcionamiento por llenado (t): 228 min
- Eficiencia del motor (η): 0,84
- Tarifa eléctrica (T_e): 0,10 USD/kWh
- Número de veces que se enciende al año: 24

b) Cálculo del consumo de energía por llenado

La energía consumida por la bomba se calcula como:

Cálculo: Ecuación (3.15):

$$E = \frac{P \cdot t}{\eta}$$

$$E = \frac{1,1 \text{ kW} \cdot 228 \text{ min}}{0,84}$$

$$E = 298,57 \text{ kWmin}$$

Conversión a *kWh*

$$298,57 \text{ kWmin} \cdot \frac{h}{60 \text{ min}} = 4,97 \text{ kWh}$$

c) Costo por llenado

Cálculo: Ecuación (3.15):

$$C_L = E \cdot T_e$$

$$C_L = E \cdot T_e$$

$$C_L = 4,97 \text{ kWh} \cdot 0,10 \text{ \$/kWh}$$

$$C_L = \$ 0,50$$

d) Costo anual:

Se enciende 24 veces al año, entonces:

Cálculo: Ecuación (3.6):

$$C_a = C_L \cdot n$$

$$C_a = 0,5 \cdot 24$$

$$C_a = \$12$$

La Tabla 5.35 presenta los valores correspondientes al consumo de energía eléctrica de la bomba durante el proceso de llenado, así como el costo asociado por ciclo y su proyección anual. Los datos consideran la potencia del motor, el tiempo de operación, la eficiencia del sistema y la tarifa eléctrica vigente, permitiendo estimar el costo anual de operación del sistema automatizado.

Tabla 5.35 Consumo de energía y costo anual de operación del sistema de llenado.

Parámetro	Cantidad	Unidad
Potencia del motor	1,1	kW
Tiempo de operación por llenado	228	min
Eficiencia del sistema	0,84	-
Energía consumida por llenado	4,97	kWh
Tarifa eléctrica	0,10	USD/kWh
Costo por llenado	0,5	USD
Número de llenados anuales	24	-
Costo anual de operación	12	USD/año

- Comparación de Costos entre el sistema actual y el sistema de implementación

Con el fin de evaluar el impacto económico de la automatización del proceso de reposición de agua blanda, se realizó un análisis comparativo de los principales componentes del costo anual entre el sistema actual y el sistema automatizado. La Tabla 5.36 presenta la comparación detallada de los componentes del costo anual para ambos sistemas.

Tabla 5.36 Comparación costos anuales del sistema actual y automatizado (2-5 años)

Componente del costo	Sistema actual (\$/año)	Implementación (\$/año)
Transporte	\$ 1.286,21	-
Mano de obra	\$ 1.301,62	-
Mantenimiento	\$ 500,00	\$ 250,0
Energía eléctrica (bomba)	-	\$ 12,00
COSTO TOTAL ANUAL	\$ 3.087,83	\$ 262,00

Total, de ahorro: \$2.825,83

En la Figura 5.16 se muestra la comparación de los costos anuales del sistema actual y del sistema propuesto, permitiendo visualizar el ahorro económico generado por la implementación de la propuesta.

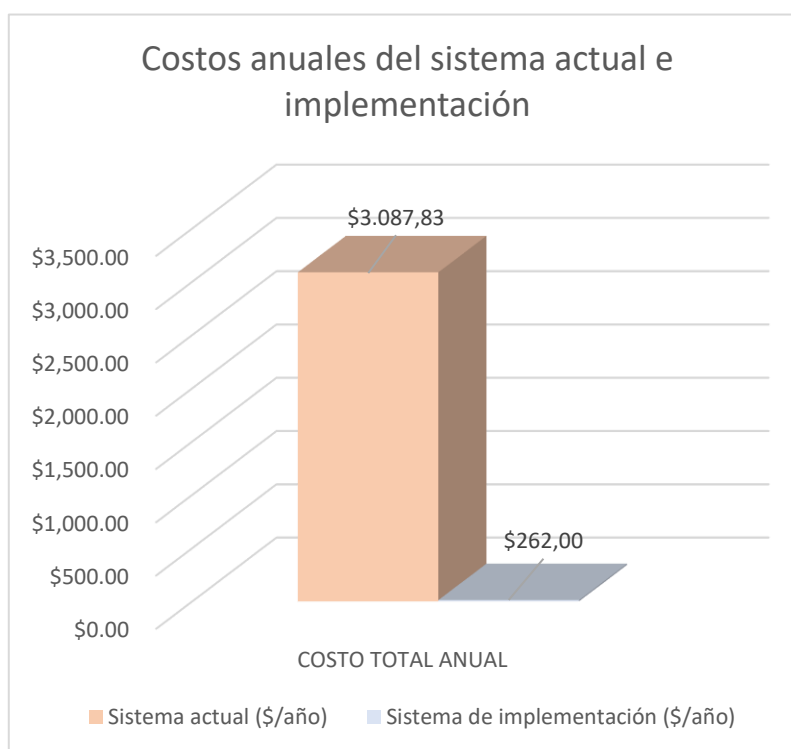


Figura 5.16 Comparación de costos anuales del sistema actual e implementación

5.3.5 Análisis Costo-Beneficio

- Determinar la inversión inicial para el sistema de implementación

En la Tabla 5.37 se detalla la inversión estimada para la implementación de la propuesta, incluyendo los costos correspondientes a equipos, materiales, instalación e imprevistos.

Tabla 5.37 Inversión de la propuesta de implementación

Concepto	Costo (USD)
Bomba centrífuga	\$ 850,00
Tuberías y accesorios	\$ 1.150,00
Válvulas	\$ 320,00
Sensores de nivel	\$ 180,00
Presostatos	\$ 120,00
Tablero eléctrico	\$ 650,00
Mano de obra e instalación	\$ 730,00
Imprevistos (10 %)	\$ 400,00
Inversión total	\$ 4.400,00

- Determinar los beneficios anuales

La Tabla 5.38 presenta los beneficios económicos anuales obtenidos con la implementación de la propuesta, mediante la comparación de los costos del proceso actual y del sistema automatizado de reposición de agua blanda.

Tabla 5.38 Beneficios de costos del 1 año

Componente del costo	Sistema actual (\$/año)	Implementación (\$/año)
Transporte	\$ 1.286,21	-
Mano de obra	\$ 1.301,62	-
Mantenimiento	\$ 500,00	\$ 250,0
Inversión inicial	-	\$ 4,400.00
Energía eléctrica (bomba)	-	\$ 12,00
COSTO TOTAL ANUAL	\$ 3.087,83	\$ 4,662.00

La Tabla 5.39 presenta los costos correspondientes del segundo al quinto año de operación, comparando el sistema actual con el sistema propuesto. En este período no se considera la inversión inicial, debido a que fue realizada durante el primer año. Se incluyen los costos de mantenimiento y consumo eléctrico del sistema automatizado

Tabla 5.39 Beneficios de costos para 2-5 años

Concepto	Sistema propuesto (USD/año)	Ahorro (USD)
Combustible	\$ -	\$ -
Mano de obra	\$ -	\$ -
Mantenimiento	\$250.00	\$250.00
Inversión inicial	\$ -	\$ -
Consumo eléctrico	\$12.00	\$12.00
Beneficio anual neto		262,00

5.3.5.1 Relación beneficio/costo

El beneficio acumulado durante los cinco años es:

$$B = 2.825,83 \cdot 5 \text{ años}$$

$$B = \$14.129,15$$

El costo total del sistema propuesto durante los cinco años, incluyendo la inversión inicial, es:

$$C = 4.400,00 + (262 \cdot 5)$$

$$C = \$ 5.710,00$$

Por lo tanto:

$$B/C = \frac{14.129,15}{5.710,00}$$

$$B/C = \$2,47$$

La Figura 5.17 presenta el análisis costo-beneficio de la propuesta de automatización del sistema de reposición de agua blanda, donde se evidencia la relación entre los costos de implementación

y los beneficios económicos generados durante el periodo de evaluación. El resultado obtenido demuestra la viabilidad económica del proyecto, debido a que los beneficios superan la inversión requerida.

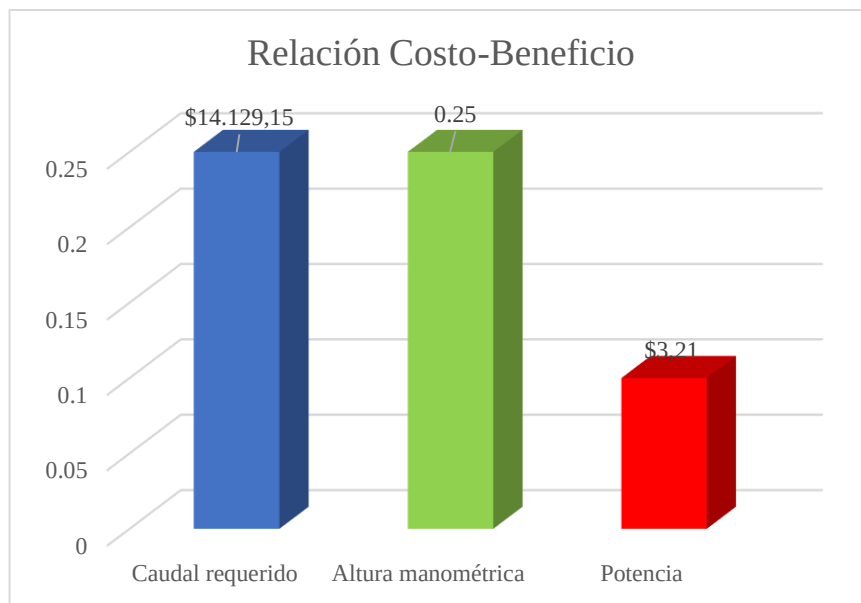


Figura 5.17 Relación costo-beneficio

- Cálculo del período de recuperación (Payback): Ecuación (3.18):

$$P_r = \frac{I_i}{B_a}$$

$$\text{Período de recuperación} = \frac{4.400,00 \text{ USD}}{2.825,83 \text{ anual}}$$

$$\text{Período de recuperación} = 1,55 \text{ ---> 1 año 5 meses}$$

El análisis costo-beneficio realizado para la propuesta de automatización del sistema de reposición de agua blanda arrojó una relación C/B de 3,50, lo que indica que, por cada dólar invertido, la empresa obtiene un beneficio de 2,47 dólares. Este resultado demuestra que la propuesta es económicamente viable y que los beneficios generados superan ampliamente la inversión inicial requerida para su implementación. Asimismo, considerando una inversión inicial de USD 4.400,00 y un beneficio económico anual de USD 2.825,83, el período de recuperación de la inversión es de aproximadamente 1 año 5 meses. Esto evidencia que la empresa recuperará el capital invertido en un tiempo relativamente corto, obteniendo posteriormente beneficios económicos.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- El diagnóstico del proceso actual de reposición de agua blanda permitió determinar que el abastecimiento de los tres tanques de enfriamiento de 8 m³ se realiza mediante un procedimiento manual, con una frecuencia aproximada de 24 eventos al año y una elevada dependencia de recursos humanos y logísticos. Para completar el llenado de los tres tanques desde nivel cero se requieren 1080 minutos, equivalentes a 18 horas, considerando un tiempo promedio de 90 minutos por viaje y cuatro viajes por tanque. Asimismo, el costo de mano de obra alcanza USD 1.301,62 anuales, mientras que el consumo de combustible representa USD 1.286,21 anuales y el mantenimiento USD 500,00 anuales, obteniéndose un costo total anual de operación de USD 3.087,83. Estos resultados permitieron identificar como principales limitaciones la ausencia de automatización, la inexistencia de monitoreo continuo del nivel de los tanques, la dependencia del transporte y la intervención directa del personal, evidenciando que el proceso actual presenta oportunidades de mejora tanto en tiempo como en costos logísticos.
- El diseño del sistema automatizado de bombeo permitió establecer una alternativa técnica para mejorar el abastecimiento de agua blanda mediante la selección y dimensionamiento de los componentes hidráulicos, eléctricos y de control. Para la selección de la bomba se aplicó el método de criterios ponderados, considerando caudal requerido, altura manométrica, potencia, eficiencia, costo, mantenimiento y confiabilidad; como resultado, la alternativa seleccionada obtuvo el mayor valor ponderado de 4,75, correspondiendo a la bomba centrífuga monoetapa horizontal ZS50-32-160/6, con un caudal nominal de 6,3 m³/h, altura manométrica de 18 m, potencia de 1,1 kW y eficiencia de 84 %. De manera complementaria, para la selección de las tuberías se aplicó el mismo método de criterios ponderados, considerando parámetros técnicos y económicos relacionados con las condiciones de operación del sistema. La alternativa con mayor valoración obtuvo 4,65, seleccionándose PVC hidráulico (PVC-U) debido a su adecuación para las condiciones del sistema. Se establecieron diámetros de 1" para la línea de succión y 1½" para la línea de descarga, buscando garantizar el suministro requerido, reducir las pérdidas de carga y mejorar las condiciones hidráulicas del sistema. El diseño se complementó con sensores de nivel, presostatos, manómetro, caudalímetro, válvulas y

tablero de control, permitiendo estructurar una propuesta automatizada orientada a disminuir la intervención manual y mejorar el control del proceso.

- La evaluación de la propuesta permitió establecer una mejora significativa respecto al proceso actual de reposición de agua blanda. El tiempo requerido para completar el llenado de los tres tanques disminuye de 1080 minutos en el sistema actual a 228 minutos en el sistema automatizado, lo que representa una reducción de 852 minutos, equivalente a 14 horas y 12 minutos, y una disminución del tiempo de reposición. El tiempo calculado corresponde a aproximadamente 76 minutos por tanque, considerando el caudal de 6,3 m³/h de la bomba seleccionada. En el aspecto económico, el costo anual del proceso actual asciende a USD 3.087,83, mientras que el costo anual de operación del sistema automatizado se estima en USD 262,00, considerando mantenimiento y consumo eléctrico. Esto representa un ahorro anual de USD 2.825,83, equivalente de la reducción de los costos anuales de operación. La propuesta requiere una inversión inicial de USD 4.400,00 y presenta un beneficio económico anual estimado de USD 2.825,83, con un período de recuperación aproximado de 1 año y 5 meses, demostrando que la automatización propuesta constituye una alternativa técnica y económicamente viable para optimizar el proceso de reposición de agua blanda en la planta de soldadura de CIAUTO.
- De manera general, el desarrollo de la propuesta de optimización del proceso de reposición de agua blanda permitió determinar que la automatización del sistema de bombeo constituye una alternativa técnica y económicamente viable para mejorar el abastecimiento de los sistemas de enfriamiento de la planta de soldadura de CIAUTO Cía. Ltda. La propuesta permite reducir la dependencia de actividades manuales, disminuir los tiempos y costos asociados a la reposición del recurso y mejorar el control del proceso mediante la incorporación de elementos de automatización. Además, los resultados de la evaluación económica evidencian que la inversión requerida puede recuperarse en un período aproximado de 1 año y 5 meses, respaldando la factibilidad de la propuesta y su potencial para contribuir a la mejora continua del proceso.

6.2 Recomendaciones

- Analizar la incorporación de bombas dosificadoras en una futura mejora del sistema, con el propósito de controlar de manera más precisa la dosificación de productos utilizados para el acondicionamiento del agua blanda, manteniendo parámetros adecuados de calidad del agua y reduciendo el riesgo de afectaciones en los sistemas de enfriamiento.
- Evaluar la incorporación de un sistema de monitoreo de parámetros de calidad del agua, mediante sensores que permitan controlar variables como conductividad, dureza o pH, según los requerimientos del proceso, con el fin de detectar oportunamente variaciones que puedan afectar el funcionamiento de los sistemas de enfriamiento.
- Considerar la ampliación del sistema de automatización mediante un controlador programable (PLC), que permita integrar el control de nivel, bombeo, dosificación y señales de alarma en una misma plataforma, facilitando la supervisión y el control del proceso de reposición.
- Evaluar a futuro la incorporación de un sistema de supervisión y registro de datos, que permita almacenar información sobre niveles de agua, tiempos de funcionamiento de la bomba, frecuencia de reposición, consumo energético y alarmas, con el propósito de generar información histórica que facilite la toma de decisiones y la aplicación de nuevas mejoras al proceso.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. E. Ruiz y T. E. R. Paladines, «Estatus tecnológico y eficiencia de las empresas manufactureras del Ecuador», *Rev. ENIAC Pesqui.*, vol. 14, n.º 1, pp. 4-27, abr. 2025, doi: 10.22567/rep.v14i1.1057.
- [2] I. Á. F. Moreira-Romero, «Consideraciones actuales sobre ablandamiento del agua», 2016.
- [3] Á. G. Carrión, D. Aldas Salazar, N. Lascano Aimacaña, y M. Ayala Guanotuña, «La sostenibilidad ambiental en la industria manufacturera del Ecuador. Un estudio desde las fuentes energéticas», *Cienc. UNEMI*, vol. 17, n.º 44, pp. 148-161, abr. 2024, doi: 10.29076/issn.2528-7737vol17iss44.2024pp148-161p.
- [4] K. Cabrera y A. Delgado, «Modelado Térmico y Simulación Computacional de Torres de Enfriamiento para la Separación de Hidrocarburos Ligeros Aplicación en la Destilación de GLP», vol. 2, n.º 4, 2025.
- [5] M. A. Pacherras Uchalín y L. F. Saldaña Bernuy, «Diseño de un sistema de ablandamiento de agua mediante el intercambio iónico para abastecer dos calderos de 30 BHP», *INGnosis*, vol. 9, n.º 2, pp. 63-72, nov. 2023, doi: 10.18050/ingnosis.v9i2.3183.
- [6] E. A. Q. Suárez, M. Á. M. Barreno, y W. G. Q. Sarzosa, «ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LOS SISTEMAS DE VENTILACIÓN Y CLIMATIZACIÓN EN EL ESTABLO LECHERO DE LA HACIENDA “SAN FRANCISCO”».
- [7] B. J. Guadamud Vergara, M. T. Miño Toala, J. P. Mawyin Veliz, y L. F. Jacome Alarcón, «Optimización de sistemas de refrigeración en máquinas eléctricas: eficiencia y seguridad», *Multidiscip. J. Sci. Discov. Soc.*, vol. 2, n.º 4, pp. 1-11, jul. 2025, doi: 10.71068/5x8cnx65.
- [8] A. P. Mena Reinoso, J. Freire Miranda, M. Sinaluisa Lozano, y D. Santillán Espinoza, «Modelo de gestión del talento humano por competencias en la planta de pintura de vehículos CIAUTO, ubicada en Ambato, Ecuador», *Ind. Data*, vol. 22, n.º 2, pp. 139-156, ene. 2020, doi: 10.15381/idata.v22i2.14636.
- [9] H. L. (Coord) Adriani, M. J. (Coord) Suárez, y N. (Coord) Murgier, *Abordajes de la actividad industrial argentina: Procesos, territorios y análisis de casos durante el gobierno de la Alianza Cambiemos*. en Estudios/Investigaciones, no. 75. La Plata: Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación, 2021.

- [10] A. E. Mogrovejo Lazo y J. F. Falconi-Piedra, «Desarrollo del mercado automotriz en el Ecuador y sus perspectivas para el año 2025.», *Soc. Tecnol.*, vol. 8, n.º 3, pp. 457-466, jul. 2025, doi: 10.51247/st.v8i3.599.
- [11] C. Ortiz y A. Alexander, «Control de calidad en la soldadura de la estructura metálica del Terminal de Transporte Terrestre del cantón Gualaceo de la provincia del Azuay», 2019.
- [12] M. Samaniego y Á. Patricio, «Diseño del Sistema Automatizado de Alimentación y Control de Bombas para Agua Potable en la Cabecera Parroquial de Limonal», 2022.
- [13] E. Kato-Vidal, «Vida y trabajo: impacto de las decisiones gerenciales en el bienestar de los empleados en México», *Retos*, vol. 15, n.º 29, pp. 149-164, mar. 2026, doi: 10.17163/ret.n29.2025.09.
- [14] E.-J. Vázquez-Moreno y A.-L. Cruz-Mendez, «Control y Aseguramiento de la Calidad en Soldaduras y Ensamblajes», vol. 11-12-2023, n.º 1.
- [15] S. Q. Sucasaire, «Uso de la soldadura eléctrica como técnicas de restauración de los componentes mecánicos desgastados», 2025.
- [16] M. J. M. Ayora, «Estado del arte de los sistemas de electrificación del calor de procesos».
- [17] J. A. P. Chala y D. A. D. Lizarazo, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE UNA BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO», 2020.
- [18] M. D. S. Pizzuti, F. F. Martínez, y M. M. Valero, «ANÁLISIS TÉRMICO Y NUMÉRICO DEL PROCESO DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN FORZADA EN FLUJO PERPENDICULAR DENTRO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE FLUJO CRUZADO, CON EVALUACIÓN Y VALIDACIÓN DE CORRELACIONES EMPÍRICAS.».
- [19] S. E. C. Ortíz, «Evaluación del desempeño de un sistema de refrigeración de aire basado en una celda de Peltier, un intercambiador de calor de un paso con fluido en fase líquida y una placa con aletas», 2025.
- [20] R. Cochay y D. Alexander, «Diseño y construcción de un banco experimental con un sistema de control hidráulico de dos bombas a presión constante».
- [21] J. P. A. Gallo, «DISEÑO DE UN SISTEMA DE APERTURA Y CIERRE PARA LA VÁLVULA DE 6" PARA CONTROL DEL NIVEL DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO EN LA ESTACIÓN DE BOMBEO DE AGUA POTABLE DEL BARRIO ROBERTULIO LORA DE LAS EMPRESAS MUNICIPALES DE CARTAGO S.A E.S.P.».

- [22] N. Espinoza y C. Steven, «Implementación de un sistema de monitoreo para compresores de tornillo- amoniaco en una industria camaronera mediante medición de temperatura y vibración para la detección de fallos operativos».
- [23] I. Á. F. Moreira-Romero, «Consideraciones actuales sobre ablandamiento del agua», 2016.
- [24] U. Campos y Y. González-Rondón, «Diseño de un sistema de control para el tratamiento de aguas de enfriamiento de un formador de azufre», *Mem. Investig. En Ing.*, n.º 26, pp. 70-84, jul. 2024, doi: 10.36561/ING.26.5.
- [25] J. C. G. Estupiñán, «PROPUESTA DE DESARROLLO DE UN MANUAL DE OPERACIÓN PARA EL CENTRO DE SERVICIOS INDUSTRIALES DEL CENTRO DE PROCESOS E INNOVACIÓN PARA LA INDUSTRIA SOSTENIBLE DE LA UNIVERSIDAD DE AMÉRICA».
- [26] Ó. T. Vegas Niño, «Nuevas herramientas para la gestión técnica de redes de distribución de agua basadas en el modelo matemático y la topología de la red.», Universitat Politècnica de València, Valencia (Spain), 2023. doi: 10.4995/Thesis/10251/192474.
- [27] G. Abad y J. Antony, «Implementación de gestión y supervisión de seguridad industrial en empresa de servicios de mantenimiento», 2025.
- [28] E. B. C. Revolorio, «Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Mecánica», oct. 2024.
- [29] C. R. C. López, «Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Mecánica», jul. 2016.
- [30] S. Rodríguez *et al.*, «ASPECTOS TÉCNICOS A TENER EN CUENTA EN EL DISEÑO DE INSTALACIONES DE AGUA UTILIZANDO TUBERÍAS DE POLIPROPILENO EN VEZ DE PVC», dic. 2020.
- [31] H. Bacilio y E. Porras, «Construcción de un banco de pruebas hidráulicas para evaluación de pérdidas de carga hidráulica en tuberías para riego», 2025.
- [32] I. Oyarzo, «DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE PÉRDIDA MENOR EN ACCESORIOS DE POLIPROPILENO, CONSIDERANDO CAUDAL VARIABLE MEDIANTE UN BANCO HIDRÁULICO», abr. 2026.

- [33] L. A. O. Cobo y W. F. B. Vásquez, «Proyecto aplicado “diseño de banco de pruebas para calibrar válvulas principales y», 2025.
- [34] L. A. O. Cobo y W. F. B. Vásquez, «Proyecto aplicado “diseño de banco de pruebas para calibrar válvulas principales y», 2025.
- [35] M. T. A. David y P. M. A. Darío, «Monitoreo y análisis de las curvas características de la bomba de engranajes externos 1ag2u06r mediante un laboratorio remoto para la facultad de mecánica», n.º 2016.
- [36] «Proyecto de factibilidad de bombeo por energía fotovoltaica de agua potable para los anexos de la molina, la cuenca, alto cerro verde del distrito de Uchumayo-Arequipa», 2021.
- [37] A. Caballero, E. Llanca, Lady Osorio, y C. Saico, «Bombas Centrífugas», jul. 2021.
- [38] A. A. Artos, «Diseño y dimensionamiento de una instalación hidráulica para el estudio de pérdidas de carga y ensayos de bombas rotodinámicas.», jul. 2025.
- [39] H. F. M. Bravo, «Mejoramiento de la eficiencia hidráulica de una bomba centrífuga operada como turbina por medio de la modificación geométrica de los álabes del impulsor», 2021.
- [40] S. López, «Metodología de cálculo para el diseño de sistemas de ductos y tuberías en proyectos de climatización industriales y centros comerciales.», jun. 2022.
- [41] E. Pérez y J. Vargas, «Software para la selección del diámetro de tubería comercial en una red de distribución neumática», 2017.
- [42] I. Abad y J. Zhicay, «Evaluación y repotenciación del sistema de captación y línea de conducción de agua cruda», 2025.
- [43] J. Caiche, «MEDICIÓN DE LA EFICIENCIA OPERACIONAL APLICANDO INGENIERÍA DE MÉTODOS Y TIEMPOS EN LA EMPRESA FOXTER S.A, CANTÓN SALINAS, ECUADOR”», 2025.
- [44] R. Rodriguez, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA LA VERIFICACIÓN DE PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO ...», 2024.
- [45] A. Villegas, «Diseño de un sistema de gestión de calidad basado en la norma iso 9001:2015 para el proceso de recuperación de rodets pelton en el centro de investigación y recuperación de turbinas hidráulicas y partes industriales-cirt», 2022.

- [46] C. E. G. Paiola, E. H. Rocha, y A. C. Rodrigues, «La importancia de los estándares de automatización para la Industria 4.0», *J. Eng. Exact Sci.*, vol. 5, n.º 5, pp. 0415-0423, dic. 2019, doi: 10.18540/jcecvl5iss5pp0415-0423.
- [47] G. E. Guzmán Mora, «Normativas y reglamentos para la seguridad y salud ocupacional en la construcción de naves industriales en Ecuador», 2025.
- [48] E. Aucay y P. Guamán, «Diseño de un sistema de medición y monitoreo del consumo de energía por circuitos en el hogar, mediante tecnología de comunicación por línea de potencia.», 2018.
- [49] A. Campo, «Estudio de factibilidad para el desarrollo del producto financiero “microcrédito”, en la cooperativa de ahorro y crédito educadores de chimborazo en la ciudad de Riobamba.», 2020.
- [50] M. Castro, «Métodos y técnicas de evaluación del riesgo de un proyecto de inversión.», 2021.

8. ANEXOS

ANEXO A

Cotización para el sistema hidráulico



HYDROTÉRMICA INGENIERIA Y PROYECTOS

Fecha Impresión:
25/septiembre/2025

COTIZACION 441.952

BODEGA: BODEGA01

DOCUMENTO: 1.805

FECHA 08/09/2025

CONCEPTO: ING JAVIER

CLIENTE: 1891748376001

CIUDAD DEL AUTO CIAUTO CIA. LTDA.

FACTURACION PENDIENTE

ARTICULO	DESCRIPCION	CANTIDAD	PVP UN	PVP IVA	TOTAL
ACPL-112	ACOPLE MACHO 1 1/2 LASCO	2,00	1,90	2,18	4,360 Por Facturar
ACPL-114	ACOPLE MACHO 1 1/4 LASCO	1,00	1,76	2,02	2,020 Por Facturar
ACPL-1	ACOPLE MACHO 1 LASCO	10,00	1,06	1,22	12,200 Por Facturar
ACPL-2	ACOPLE MACHO 2 LASCO	1,00	2,82	3,24	3,240 Por Facturar
BI8H/114	BRIDA DE 1 1/4" INOX 304	1,00	33,13	38,10	38,100 Por Facturar
BI8H/2	BRIDA DE 2" INOX 304	1,00	39,18	45,06	45,060 Por Facturar
CODL45-112	CODO DE 45 X 1 1/2 LASCO	4,00	3,60	4,14	16,560 Por Facturar
CODL90-112	CODO DE 90 X 1 1/2 LASCO	14,00	2,72	3,13	43,820 Por Facturar
CODL90-1	CODO DE 90 X 1 LASCO	4,00	1,23	1,42	5,680 Por Facturar
CLL63-1	COLLARIN TOMA SIMPLE 63 X 1	8,00	6,75	7,76	62,080 Por Facturar
GPS-003	GALON DE PINTURA VERDE SINTETICO	2,00	30,63	35,22	70,440 Por Facturar
JD3534	MANOMETRO GLICERINA 2 1/2 0-100 PSI LATERAL 1/4 N	2,00	17,16	19,73	39,460 Por Facturar
NCP-1	NEPLO CINTURA 1 ROSCABLE POLIMEX	4,00	1,26	1,45	5,800 Por Facturar
PRS-01	PRESOSTATO DE PRESICION X 1/4 INCH LEFOO	1,00	66,97	77,01	77,010 Por Facturar
RBL112-114	REDUCTOR BUSHING 1 1/2 X 1 1/4 LASCO	1,00	1,94	2,23	2,230 Por Facturar
RBL112-1	REDUCTOR BUSHING 1 1/2 X 1 LASCO	4,00	1,60	1,84	7,360 Por Facturar
BRP1-12	REDUCTOR BUSHING 1 X 1/2 ROSCABLE POLIMEX	2,00	2,28	2,62	5,240 Por Facturar
BRP12-14	REDUCTOR BUSHING 1/2 X 1/4 ROSCABLE POLIMEX	2,00	0,90	1,03	2,060 Por Facturar
RBL2-112	REDUCTOR BUSHING 2 X 1 1/2 LASCO	1,00	4,51	5,19	5,190 Por Facturar
TBESTK-100L	TANQUE PRESION 25GL BEST TANK	1,00	176,83	203,35	203,350 Por Facturar
TEL-112	TEE DE 1 1/2 LASCO	4,00	3,43	3,94	15,760 Por Facturar
TUK40-112	TUBO 1 1/2 TUBYTEK CED 40-330 PSI	37,00	18,70	21,50	795,500 Por Facturar
TUK40-1	TUBO 1 TUBYTEK CE 40 - 450 PSI	6,00	16,50	18,98	113,880 Por Facturar
UNL-112	UNIVERSAL DE 1 1/2 LASCO	10,00	22,62	26,01	260,100 Por Facturar
CHP-112	VALVULA CHECK 1 1/2 PEGABLE	1,00	37,28	42,87	42,870 Por Facturar
VE-95N	VALVULA ESFERICA 1 1/2 LD PEGABLE (NUEVA)	7,00	10,67	12,27	85,890 Por Facturar
VE-94	VALVULA ESFERICA 1 LD PEGABLE MANGO ROJO	5,00	5,43	6,25	31,250 Por Facturar
FLH-1	VALVULA FLOTADOR 1 HELBERT B CU	4,00	79,63	91,58	366,320 Por Facturar

TOTAL: COTIZACION

2.362,83

Enviado por

Visto Bueno

Recibido por

Figura A.1 Presupuesto detallado para la implementación del sistema hidráulico

ANEXO B

Cotización para el sistema eléctrico



COTIZACION N° 01-10556

**AUTOMATIZACION INDUSTRIAL,
MANTENIMIENTO Y MATERIAL ELECTRICO**

RUC: 1792426448001 TELF: 3261726
DIRECCION: AMAGASI E15-267

www.simoticecuador.com  

SIMOTIC ECUADOR 0984953972

EMPRESA: CIUDAD DEL AUTO

UBICACIÓN

SOLICITADO POR: ING JAVIER

TELEFONO:

FECHA 1/10/2025

VENDEDOR: ALEXANDER

TELEFONO: 0986267069

CORREO: ventas3@simoticecuador.com

ITEM	DESCRIPCION	CANT	UND	PRECIO	DES	TOTAL
1	BREAKER SIEMENS 3X20 5SL33207	1	UND	\$ 32,32	28%	\$ 23,27
2	GUARDAMOTOR SIEMENS 2,2-3,2AMP 3RV2011-1DA10 S00	1	UND	\$ 84,26	28%	\$ 60,67
3	BLOQUE DE CONT. AUX 3RH2911-1FA22 S00-03	1	UND	\$ 17,23	28%	\$ 12,41
4	CONTACTOR 7AMP 3RT2015-1AP01 BOBINA 220V S00	1	UND	\$ 34,14	28%	\$ 24,58
5	PULSADOR LUMINOSO ROJO SIEMENS 220V	1	UND	\$ 42,16	28%	\$ 30,36
6	PULSADOR LUMINOSO VERDE SIEMENS 220V	1	UND	\$ 42,16	28%	\$ 30,36
7	PARO DE EMERGENCIA TIPO HONGO 3SU1150-1BA20-1CA0	1	UND	\$ 47,28	28%	\$ 34,04
8	PORTAFUSIBLES RIEL DIN 10*38	3	UND	\$ 1,78	20%	\$ 4,27
9	GABINETE METALICO 60*40*20	1	UND	\$ 92,12	20%	\$ 73,70
10	CANAleta RANURADA 40*40	2	UND	\$ 7,80	20%	\$ 12,48
11	TERMINAL TIPO U P/CABLE 10AWG VF-5.5-5Y	1	PAQ	\$ 10,90	20%	\$ 8,72
12	CABLE CONCENTRICO 4X12AWG	20	M	\$ 2,55	2%	\$ 49,98
13	CABLE FLEXIBLE 22AWG	100	UND	\$ 0,09	0%	\$ 9,00
14	TERMINAL PUNTERA 22AWG	1	PAQ	\$ 1,15	20%	\$ 0,92
15	BORNERA CAGECLAMP 12AWG	20	UND	\$ 1,80	5%	\$ 34,20
16	BORNERA CAGECLAMP PARA TIERRA 28-12 AWG	12	UND	\$ 6,08	5%	\$ 69,31
17	PRESOSTATO O KPI 36 DANFOSS RANGO (4-12) BAR - 060-118966	1	UND	\$ 150,00	5%	\$ 142,50
SUBTOTAL						\$ 620,76
IVA:						\$ 93,11
TOTAL						\$ 713,87

FORMA DE PAGO: CREDITO

TIEMPO DE ENTREGA: INMEDIATO PREVIA OC

VALIDEZ DE LA OFERTA: 7 DIAS



















Figura B.1 Presupuesto detallado para la implementación del sistema eléctrico

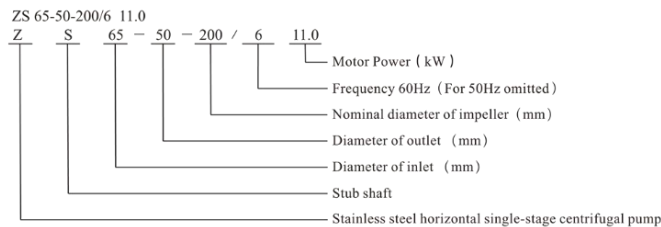
ANEXO C

Catálogo técnico Bomba Centrífuga CNP Serie ZS 60Hz (MODELO: ZS50-32-160/6 1. 1SSC)

Introduction

ZS Stainless steel horizontal single-stage centrifugal pump is made by advanced techniques such as pressing bulging welding of corrosion resistant plate. It is a new generation centrifugal pump initiated in China and may replace traditional IS pump and common corrosion proof pump. It features beautiful appearance, light and handy structure, high efficiency and energy saving, durable, corrosion proof, low noise, etc.

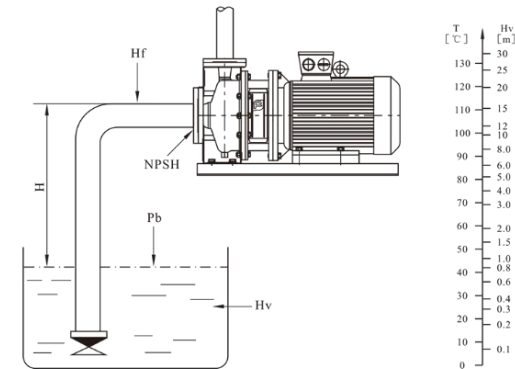
Definition of model



Application

ZS Stainless steel horizontal single-stage centrifugal pump is a sort of multifunction product with wide application. It may transmit various mediums including water or industrial liquid and is suitable for different temperature, flow rate and range of pressure. Its typical application mainly includes the following aspects:

- Water supply: filtration in water works, transportation and subarea water carriage, pressurization of main duct;
- Industrial pressurization: flow wetting system, cleaning system;
- Transportation of industrial liquid: water supply of boiler, condensed system, cooling and air conditioning system, machine tool support, light acid and alkali transportation;
- Water treatment: distilled water system or separator, swimming pool, etc.;
- Farmland irrigation, medicine and sanitation, etc.



Minimum inlet pressure NPSH

In case that the pressure in pump is lower than the steam pressure used to convey liquid, the cavitations will occur. To avoid cavitations, a minimum pressure at the inlet side of the pump shall be guaranteed. The maximum suction stroke can be calculated with following formula:

$$H = Pb \times 10.2 - NPSH - Hf - Hv - Hs$$

Pb – Atmosphere pressure (bar)

In a closed system, Pb means system pressure (bar)

NPSH – Net positive suction head (m)

It can be read from the point of Max. flow rate shown on NPSH curve.

Hf – Pipeline loss at the inlet (m)

It is in accordance with pipeline possible Max. Flow.

Hv – Steam pressure (m)

It depends on liquid temperature and steam pressure value.

Hs – Safety margin (m)

Minimum 0.5m delivery head.

If the calculated result H is negative, the pump may run under the Max. Suction head H. In case the calculated result H is negative, a delivery head of Min. Inlet pressure is necessary.

Note: Normally, the above calculation will not be done. H is calculated in the following conditions:

- 1、The liquid temperature is comparatively higher;
- 2、Liquid flow exceeds rated value;
- 3、Suction head is comparatively large or inlet pipeline long;
- 4、System pressure is too low;
- 5、Bad inlet condition.

Figura C.1 Nomenclatura y datos generales bomba CNP ZS

ANEXO D

Catálogo técnico Bomba Centrífuga CNP Serie ZS 60Hz (MODELO: ZS50-32-160/6 1. 1SSC)

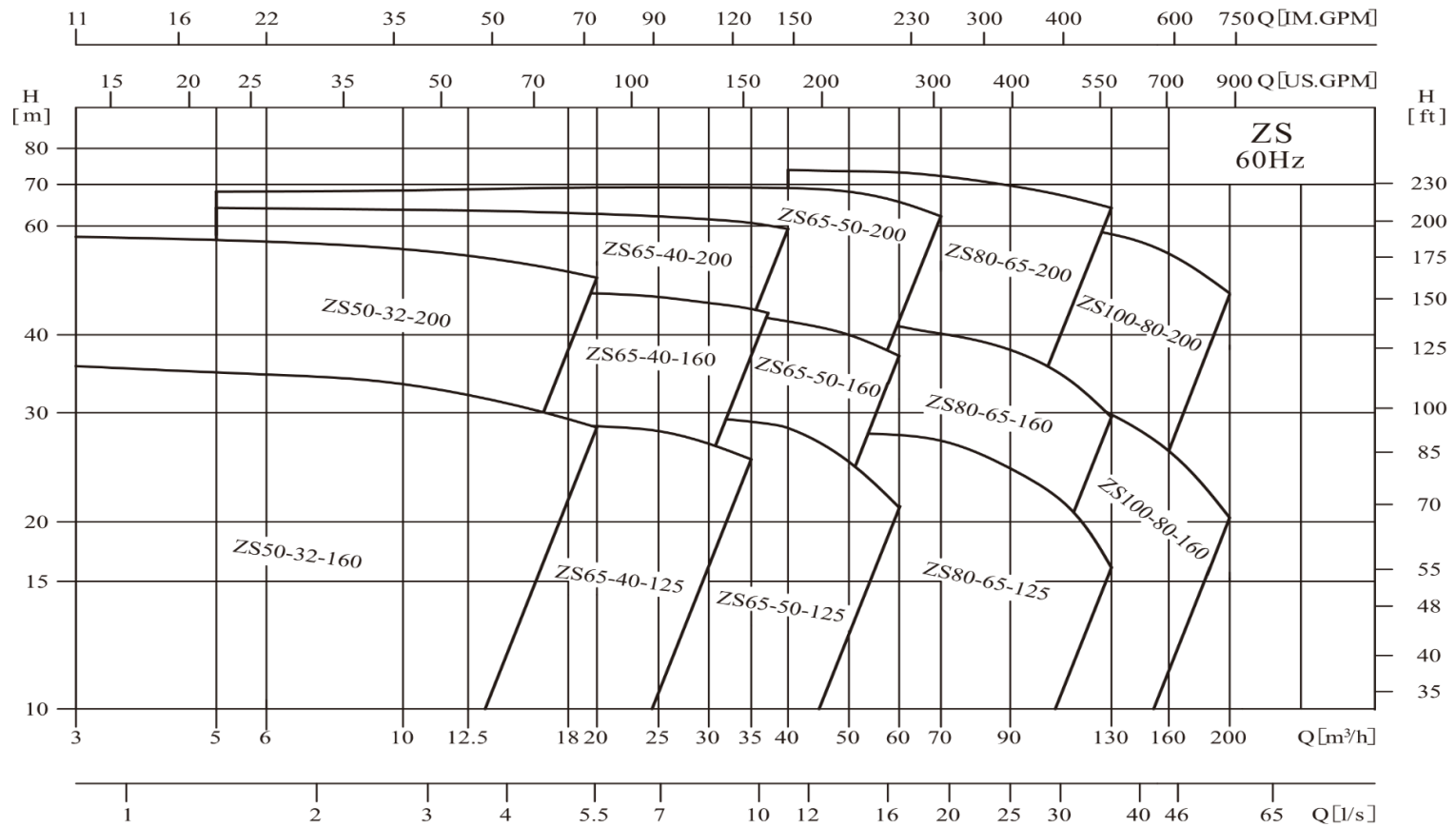


Figura D.1 Curvas de rendimiento H-Q Serie ZS a 60Hz

ANEXO E

Catálogo técnico Bomba Centrífuga CNP Serie ZS 60Hz (MODELO: ZS50-32-160/6 1. 1SSC)

Product range

60Hz

NO.	Model	Q (m ³ /h)	H (m)	n (r/min)	Standard voltage (V)	
					1×220V	3×380V
					P ₂ (kW)	P ₂ (kW)
1	ZS50-32-160/6 1.1	6.3	18	3450	1.1	1.1
2	ZS50-32-160/6 1.5	12.5	20		1.5	1.5
3	ZS50-32-160/6 2.2	12.5	25		2.2	2.2
4	ZS50-32-160/6 3.0	12.5	32			3
5	ZS50-32-200/6 4.0	12.5	42			4
6	ZS50-32-200/6 5.5	12.5	54			5.5
7	ZS65-40-125/6 1.5	25	13		1.5	1.5
8	ZS65-40-125/6 2.2	25	18		2.2	2.2
9	ZS65-40-125/6 3.0	25	24			3
10	ZS65-40-125/6 4.0	25	28			4
11	ZS65-40-160/6 5.5	25	36			5.5
12	ZS65-40-160/6 7.5	25	46			7.5
13	ZS65-40-200/6 11.0	25	62	3500		11
14	ZS65-50-125/6 3.0	50	13	3450		3
15	ZS65-50-125/6 4.0	50	18			4
16	ZS65-50-125/6 5.5	50	25			5.5
17	ZS65-50-160/6 7.5	50	32			7.5
18	ZS65-50-160/6 9.2	50	40			9.2
19	ZS65-50-200/6 11.0	50	48	3500		11
20	ZS65-50-200/6 15.0	50	58			15
21	ZS65-50-200/6 18.5	50	68			18.5
22	ZS80-65-125/6 5.5	100	12.5	3450		5.5
23	ZS80-65-125/6 7.5	100	18			7.5
24	ZS80-65-125/6 9.2	100	23			9.2
25	ZS80-65-160/6 11.0	100	27	3500		11
26	ZS80-65-160/6 15.0	100	36			15
27	ZS80-65-200/6 18.5	100	45			18.5
28	ZS80-65-200/6 22.0	100	53			22
29	ZS80-65-200/6 30.0	100	68			30
30	ZS100-80-160/6 15.0	160	20			15
31	ZS100-80-160/6 18.5	160	26			18.5
32	ZS100-80-200/6 22.0	160	33			22
33	ZS100-80-200/6 30.0	160	45			30
34	ZS100-80-200/6 37.0	160	54			37

Figura E.1 Requisitos de instalación, condiciones de operación, dibujo de sección y materiales.

ANEXO F

Estandarización del procedimiento operativo para la reposición y control del agua en las torres de enfriamiento.

	INSTRUCCIONES DE TRABAJO DE MAQUINARIA		Elaborado por: Asistente de Mantenimiento		Código: 19	
			Revisado por: Coordinador de Mantenimiento		Versión: 00	
			Aprobado por: Coordinador de Mantenimiento		Fecha Emisión: 2015-09-07	
Línea: Planta de Soldadura	Estación: TORRES DE ENFRIAMIENTO		Modelo: APLICA TODOS LOS MODELOS	Hoja de Proceso: n/a		
Características Especiales:  Chequeo de Calidad  Operación Crítica  Seguridad Industrial  Medio Ambiente		Equipo de Protección:  ☒ Gafas  ☒ Zapatos de Seguridad  ☒ Casco  ☒ Guantes  ☒ Ropa de Trabajo		Residuos Generados:  ☐ Plástico  ☐ Vidrio  ☐ Peligrosos  ☒ General  ☐ Chatarra  ☐ Papel / Cartón		
GRAFICO / FOTOGRAFIA		No.	Paso Principal (Elemento)	Símbolo	¿Cómo? (Puntos Clave)	¿Por qué? (Efectos)
		1	Verificación general del sistema		Revisar que se encuentre encendido el pulsador de color rojo	Evita fallos en el arranque y asegura condiciones adecuadas de operación.
		2	Verificar del paro de emergencia		Comprobar que el botón de paro de emergencia esté liberado (no presionado).	Permite que el circuito de control tenga energía para operar el sistema.

	3	Activar el sistema (Start)		Presionar el botón verde START para energizar el circuito de control.	Inicia el funcionamiento del sistema o equipo.
	4	Desactivar el sistema (Stop)		Presionar el botón rojo STOP cuando se requiera detener el proceso.	Detiene el sistema de forma controlada.
	5	Paro de emergencia		Presionar el botón de paro de emergencia en caso de falla o riesgo.	Detiene inmediatamente el sistema para prevenir daños o accidentes.
	6	Temporizador programable		Configurar los dos días de operación del sistema.	Garantizar el encendido y apagado del sistema en los horarios productivos.

Figura F.1 Formato de instrucciones de trabajo para la operación y control en la estación de torres de enfriamiento.

ANEXOS GENERALES

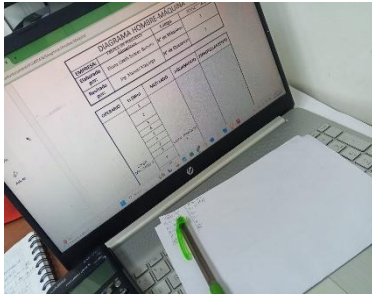


Figura G.1 Levantamiento de información



Figura H.1 Investigación del sistema de bombeo

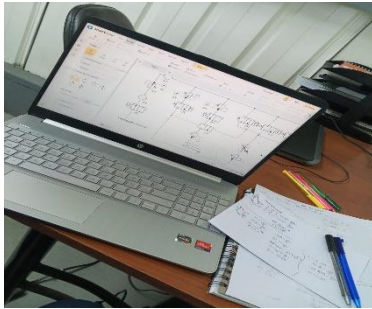


Figura I.1 Investigación de simuladores

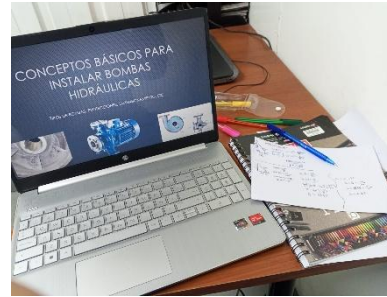


Figura J.1 Investigación de bombas hidráulicas



Figura K.1 Investigación de caudal de bombeo y tuberías



Figura L.1 Revisión de tuberías



Figura M.1 Pintado de las tuberías

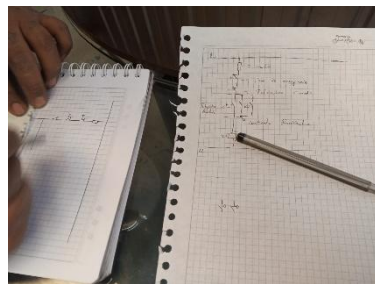


Figura O.1 Análisis del sistema eléctrico



Figura N.1 Cortes en el tablero de control



Figura P.1 corte de perfil metálico ranurado



Figura Q.1 Ubicación de elementos eléctricos



Figura R.1 Perforación de la base metálica del tablero eléctrico



Figura S.1 Montaje de componentes eléctricos.



Figura T.1 Crimpado de terminales eléctricos en conductores



Figura U.1 Montaje y conexionado de los componentes eléctricos



Figura V.1 Instalar y distribuir los componentes eléctricos dentro del gabinete



Figura W.1 Comprobar que los componentes se encuentren correctamente instalados



Figura X.1 Realizar ajustes en las conexiones eléctricas del tablero

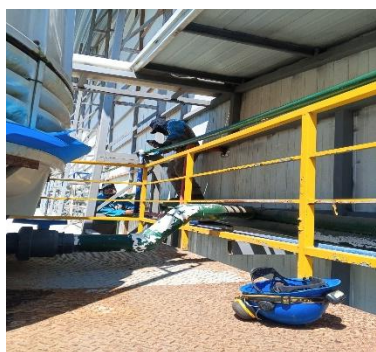


Figura Y.1 Colocación de tuberías

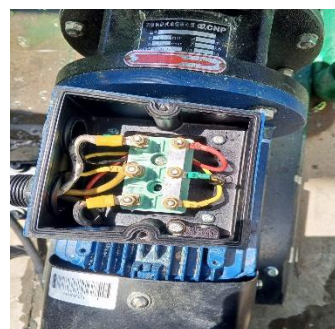


Figura Z.1 Verificación de las conexiones en la bomba



Figura AA.1 Instalación del tablero de control

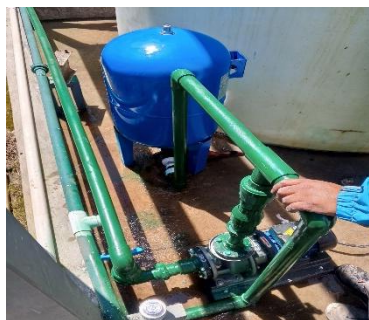


Figura BB.1 Verificación de posibles fugas



Figura CC.1 Corrección de fugas en las tuberías



Figura DD.1 Colocación de etiquetas del sistema



Figura EE.1 Tablero de control finalizado



Figura FF.1 Proyecto final del sistema de bombeo