

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

**PROYECTO DE SISTEMA DE CONTROL PARA MOTOBOMBAS EN EDIFICIO
LOS PELICANOS**

Trabajo de Titulación para optar al
Título de Ingeniero de Ejecución en
CONTROL E INSTRUMENTACIÓN
INDUSTRIAL

Alumno:

Nehemías Augusto Rodríguez Salas

Profesor Guía:

Mag. Franz Yurjevic Perin

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: **Proyecto de sistema de control para motobombas en edificio Los Pelicanos**

Nombre del candidato: **Nehemías Augusto Rodríguez Salas**

Carrera / Grado: **Ingeniería en ejecución en control e instrumentación industrial**

Campus: **Sede Viña del Mar.** Departamento: **Electrotecnia e Informática (ELINF)**

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, FRANZ YURJEVIC PERIN, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (**marcar una opción**):

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

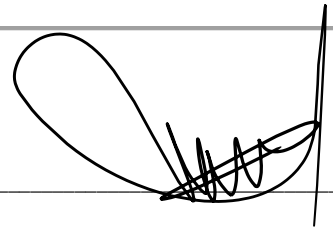
Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 22 enero 2026

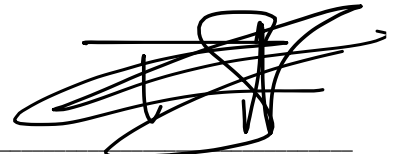
Firma: _____



Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 21-01-2026

Firma: _____



Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

RESUMEN

KEYWORDS: Control por presión, potencia, variador de frecuencia, monitoreo.

El presente proyecto tiene como objetivo disminuir el alto consumo de energía eléctrica en un edificio desarrollando un sistema de control de bombas.

En el capítulo uno, se describe el problema que se busca solucionar, luego se detallan las características del sistema hidráulico y cada uno de sus componentes, poniendo énfasis en las condiciones de operación de las motobombas. Asociado a ello se describe el sistema de control que opera a la fecha de este trabajo.

Además, se presentan mediciones de corriente de arranque de las motobombas realizadas en terreno, finalizando con la descripción de propuestas de solución.

El capítulo dos presenta la filosofía de la solución a implementar, los requerimientos del sistema. También se describe el desarrollo de la solución mediante el diseño de un sistema de control con una lógica definida y el sistema de comunicación que se implementará para coordinar el funcionamiento de los equipos. De igual forma se detallan las características técnicas de cada uno de ellos.

En el capítulo tres, se describen los costos del proyecto por concepto de materiales, desarrollo, capacitación e impuestos. También se describe el beneficio económico que generaría este proyecto por ahorro de potencia y energía eléctrica.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	11
CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES.....	12
1 ANTECEDENTES	13
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
1.1.1 Medición de corriente.....	14
1.1.2 Importancia de resolver el problema	22
1.1.3 Costo mensual general por electricidad edificio Los Pelícanos.....	22
1.2 SOLUCIÓN DEL PROBLEMA.....	30
1.3 REQUERIMIENTOS	30
1.3.1 Sala de Bombas.....	30
1.3.2 Red hidráulica	43
1.3.3 Sala de calderas	45
1.4 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN	54
1.4.1 Impedir la simultaneidad entre el funcionamiento de las bombas y ascensores	54
1.4.2 Programación de partidas con temporizadores	55
1.4.3 Mejorar la secuencia de partidas y bajar la corriente de arranque de las bombas	55
1.5 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.....	55
1.6 OBJETIVOS.....	57
1.6.1 Objetivo general.....	57
1.6.2 Objetivos específicos	57
CAPÍTULO 2: DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN.....	58
2 INTRODUCCIÓN AL DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN	59
2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA.....	59
2.2 REQUERIMIENTOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN	60
2.2.1 Requerimientos eléctricos	60
2.2.2 Requerimientos de control	63
2.2.3 Requerimientos hidráulicos	65
2.3 METODOLOGÍA DE IMPLEMENTACIÓN	68
2.3.1 Diagrama de Control.....	69

2.3.2 Diagrama de Fuerza	72
2.3.3 Comunicación	73
2.3.4 Solución	73
2.4 EQUIPOS PROPUESTOS	75
2.4.1 Protecciones eléctricas	76
2.4.2 Sensor de Presión	76
2.4.3 Variador de frecuencia	77
2.4.4 Tarjeta de Comunicación	79
2.4.5 MicroPLC	80
2.4.6 Pantalla HMI	81
2.4.7 Contactores	82
2.5 PROPUESTAS ADICIONALES DE MEJORA	83
CAPÍTULO 3: EVALUACIÓN ECONÓMICA	85
3. EVALUACIÓN ECONÓMICA	86
3.1 COSTOS	86
3.1.1 Costos de materiales	87
3.1.2 Costos por implementación y capacitación	87
3.1.3 Subtotal	90
3.1.4 Costo por imprevistos	90
3.1.5 Costo por desarrollo	91
3.1.6 Costos totales	91
3.2 BENEFICIOS MONETARIOS	91
3.2.1 Ahorro en consumo de energía	92
3.2.2 Ahorro de potencia	95
3.2.3 Ahorro total por proyecto	97
3.3 TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)	97
3.4 SENSIBILIDAD DEL PROYECTO	100
CONCLUSIONES	102
BIBLIOGRAFÍA	103
Anexo A	104
Gasto monetario por consumo de energía	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Analizador de calidad de la energía.....	15
Figura 1-2. Conexión eléctrica de analizador de redes.....	15
Figura 1-3. Gráficos de Corrientes de Arranque Lunes 30 de junio 2025	17
Figura 1-4. Gráficos de Corrientes de Arranque miércoles 2 de Julio 2025	17
Figura 1-5. Gráficos de Corrientes de Arranque Martes 1 de julio 2025	17
Figura 1-6. Gráficos de Corrientes de Arranque Jueves 3 de julio 2025	18
Figura 1-7. Gráficos de Corrientes de Arranque Sábado 5 de julio 2025	18
Figura 1-8. Gráficos de Corrientes de Arranque Viernes 4 de julio 2025.....	18
Figura 1-9. Gráficos de Corrientes de Arranque Domingo 6 de julio 2025	18
Figura 1-10. Gráficos de Corrientes de Arranque Lunes 7 de julio 2025	19
Figura 1-11. Gráficos de Corrientes de Arranque Martes 8 de julio 2025	19
Figura 1-12. Gráfico de Corriente de Arranque miércoles 2 de julio 2025 06:00-11:00 AM	20
Figura 1-13. Gráfico de Corriente de Arranque miércoles 2 de julio 2025 06:30-07:30 AM.....	21
Figura 1-14. Promedio de consumo general y costo de energía	29
Figura 1-15. Gráfica de promedio de consumo de energía y costo de energía	29
Figura 1-16. Diagrama P&ID sala de bombas.....	31
Figura 1-17. Motobombas Edificio Los Pelícanos	32
Figura 1-18. Placa de características de motobomba Pedrollo.	34
Figura 1-19. Características Técnicas de Hidrotanque V-01.....	34
Figura 1-20. Hidrotanque 200 L V-02	35
Figura 1-21. Hidrotanques V-03 V-04.....	36
Figura 1-22. Plano superficie sentinas	37
Figura 1-23. Presóstatos Sala de bombas.....	38
Figura 1-24. Válvula de compuerta	39
Figura 1-25. Válvula Mariposa	41
Figura 1-26. Controlador de presóstatos.....	41
Figura 1-27. Diagrama de fuerza y comando	42
Figura 1-28. Interior de Tablero de Protección y Comando.....	43
Figura 1-29. Tuberías de red hidráulica con despiche - Piso 8	44
Figura 1-30. Esquema isométrico agua caliente	45
Figura 1-31. Diagrama P&ID Sala de Calderas.....	46
Figura 1-32. Válvula de mezclado.....	47
Figura 1-33. Acumuladores de Agua.....	48
Figura 1-34. Ajustador de temperatura de acumulador	49
Figura 1-35. Hidrotanque sala de calderas.	50
Figura 1-36. Caldera modal	51
Figura 1-37. Fotografía Calderas	52
Figura 2-1. Diagrama de flujo de lógica de control de presión.	67
Figura 2-2. Diagrama de bloques de equipos del sistema de control	68

Figura 2-3. Diagrama P&ID del sistema.....	69
Figura 2-4. Diagrama de Control.....	70
Figura 2-5. Diagrama de Fuerza.	72
Figura 2-6. Diagrama de comunicación.....	73
Figura 2-7. Primera parte de diagrama de flujo de solución propuesta	74
Figura 2-8. Segunda parte de diagrama de flujo de solución propuesta	75
Figura 2-9. Interruptor termomagnético.....	76
Figura 2-10. Sensor de presión	77
Figura 2-11. Variador de frecuencia	79
Figura 2-12. Tarjeta de comunicación.....	80
Figura 2-13. Micro PLC	81
Figura 2-14. Pantalla HMI	82
Figura 2-15. Contactor	83
Figura 3-1. Carta Gantt	89
Figura 3-2. Representación gráfica de la energía consumida por motobombas.....	92
Figura 3-3. Impacto del consumo de energía con datos de años anteriores al proyecto.....	94
Figura 3-4. Gráfico de flujo de caja.....	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Gastos generales por energía eléctrica (\$CLP)	23
Tabla 1-2. Consumo de energía (kWh) Edificio Los Pelícanos	24
Tabla 1-3. Costo neto por consumo de energía (\$)	25
Tabla 1-4. Costo unitario de energía (\$/kWh)	26
Tabla 1-5. Demanda leída / Demanda facturada (kW)	27
Tabla 1-6. Promedios de pagos/consumos y variaciones por consumo de energía	28
Tabla 1-7. Características técnicas de Motobombas	33
Tabla 1-8. Características Técnicas hidrotanques V-03 V-04.....	36
Tabla 1-9. Dimensiones físicas de cada estanque	37
Tabla 1-10. Protecciones y elementos de control	42
Tabla 1-11. Datos técnicos de Acumuladores	48
Tabla 1-12. Características Técnicas de hidrotanques sala de calderas	50
Tabla 1-13. Características generales de calderas.....	51
Tabla 1-14. Datos técnicos motobomba sala de bombas.....	53
Tabla 1-15. Características técnicas de bombas recirculadoras.	54
Tabla 1-16. Evaluación de alternativas de solución.....	57
Tabla 2-1. Requerimientos Protección General.....	62
Tabla 2-2. Requerimientos de protección para cada bomba	62
Tabla 2-3. Requerimientos para contactor	63

Tabla 2-4. Requerimientos para un variador de frecuencia	64
Tabla 2-5. Requerimiento de características físicas de tablero	65
Tabla 2-6. Lógica de monitoreo de presión	67
Tabla 2-7. Puertos de variador de frecuencia	71
Tabla 2-8. Disposición de bornes micro PLC	71
Tabla 2-9. Características técnicas de interruptor termomagnético	76
Tabla 2-10. Características técnicas de sensor de presión	77
Tabla 2-11. Características técnicas Variador de Frecuencia	78
Tabla 2-12. Características técnicas tarjeta de comunicación.....	80
Tabla 2-13. Características técnicas Micro-PLC	81
Tabla 2-14. Características técnicas de pantalla HMI	82
Tabla 2-15. Características técnicas de contactores.....	83
Tabla 3-1. Costos de materiales	87
Tabla 3-2. Coste de Implementación	88
Tabla 3-3. Subtotal.....	90
Tabla 3-4. Costo por imprevistos	90
Tabla 3-5. Costos totales.....	91
Tabla 3-6. Consumo de energía diario	92
Tabla 3-7. Comparación de consumo respecto a años anteriores a este trabajo	94
Tabla 3-8. Consumo de potencia por iluminación.	95
Tabla 3-9. Valores para cálculo de VAN.....	98
Tabla 3-10. Valores para cálculo de TIR.....	99
Tabla 3-11. Diagrama de flujo de VAN	99
Tabla 3-12. Sensibilidad de proyecto	101

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA**A. SIGLAS:**

PLC	: Controlador lógico programable
HP	: Horsepower
ESVAL	: Empresa Sanitaria de Valparaíso, Aconcagua y Litoral
PVC	: Policloruro de Vinilo
VDF	: Variador de frecuencia
HMI	: Interfaz hombre-máquina
VAN	: Valor actual neto
TIR	: Tasa interna de retorno

B. SIMBOLOGÍA:

V	: Volts
A	: Amperio
Q	: Caudal
l	: Litro
s	: Segundo
m	: Metro
H	: Altura
mm	: Milímetro
W	: Watt
kW	: Kilowatt
Hz	: Hertz
rpm	: Revoluciones por minuto
m ³	: Metros Cúbicos

Ø : Diámetro

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales desafíos en el ámbito industrial y de servicios corresponde al uso eficiente de la energía eléctrica por lo que es fundamental la implementación de sistemas de control automatizados para mejorar la eficiencia energética para reducir pérdidas y reducir altos niveles de consumo.

El presente trabajo de título aborda el diseño de un sistema de control automático para controlar el funcionamiento de motobombas utilizadas para impulsar agua dentro de una red hidráulica de un edificio, con el objetivo de optimizar el consumo de la energía eléctrica utilizada sobre todo en la fase de arranque.

Esta propuesta considera el uso de un variador de frecuencia, un micro PLC y una pantalla HMI, como equipos de control y monitoreo. También se propone medir la presión de la red mediante un sensor. El variador de frecuencia incorpora la medición y almacenamiento de variables útiles para gestionar un mantenimiento eficiente para las motobombas.

Este trabajo busca demostrar que la aplicación de sistemas de control automatizados puede mejorar la operación de sistemas hidráulicos, ya sea, desde el punto de vista técnico como del económico, siendo una alternativa real de solución para sistemas de similares características.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES

1 ANTECEDENTES

Este trabajo se enfoca en buscar una solución para reducir el alto consumo de energía que se produce durante el periodo de arranque de 6 motobombas de 10 HP cada una, instaladas en el piso -1 y que deben impulsar agua hasta el piso 16 del edificio residencial Los Pelícanos, ubicado en calle San Luis 498, comuna de Valparaíso. Este elevado consumo genera un costo significativo para la comunidad de residentes.

El sistema de control de arranque de las bombas (a la fecha de este trabajo) es dirigido por un relé controlador que no se ha logrado establecer con claridad la lógica de funcionamiento. Se presume que funciona de acuerdo con la presión que hay en la red hidráulica, si baja la presión del agua (aproximadamente 5,90 bar), presóstatos instalados envían una señal al controlador ubicado en el tablero, quien ordena la partida de la(s) bomba(s) asignadas según el horario configurado en el mismo controlador.

En el caso de la detención de las bombas, se presume que el proceso es similar, el controlador detecta una presión determinada en el sistema (aproximadamente 7,25 bar) y ordena la detención de la(s) bomba(s) que se encuentran funcionando.

Por otra parte, las partidas de las bombas son controladas por el sistema de control Y/ Δ (estrella/triángulo), el cual es un sistema funcional pero poco eficiente en cuanto al control de la corriente.

En este capítulo se presenta y describe la problemática a resolver, alternativas de solución y los requerimientos que debe tener una solución viable.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las condiciones actuales generan distintas problemáticas, que se describen a continuación:

- No hay claridad en cuanto al criterio de arranque de las bombas
- La secuencia de partidas no incluye a todas las motobombas instaladas.
- El sistema de arranque es funcional pero limitado para controlar las corrientes de arranque.

El problema para resolver es el alto consumo de energía producido por picos de corriente, debido a partidas de motobombas que elevan agua desde el piso -2 hasta el piso 16 donde se encuentra la sala de calderas.

1.1.1 Medición de corriente

Para comprobar los niveles de corrientes alcanzados en los arranques de los motores, se realiza la medición de corrientes en cada una de las tres fases con un analizador de redes donde se contabilizan todas las partidas realizadas dentro del periodo comprendido entre el lunes 30 de junio del año 2025 a las 12:23 pm, hasta el martes 8 de julio a las 12:00 PM.

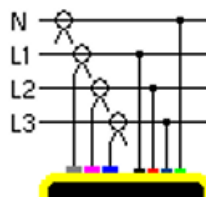
La medición fue realizada con un analizador de calidad de la energía marca: AEMC instruments modelo Powerpad III.



Fuente: https://www.aemc.com/about-us/pr_8336_ES.cfm

Figura 1-1. Analizador de calidad de la energía

La conexión eléctrica para la medición de corriente y voltajes se muestra en la figura 1-2, en donde las líneas verticales con punta circular corresponden a los medidores de corrientes de tipo tenaza y las líneas con extremo sólido circular corresponde a los medidores de tensión.

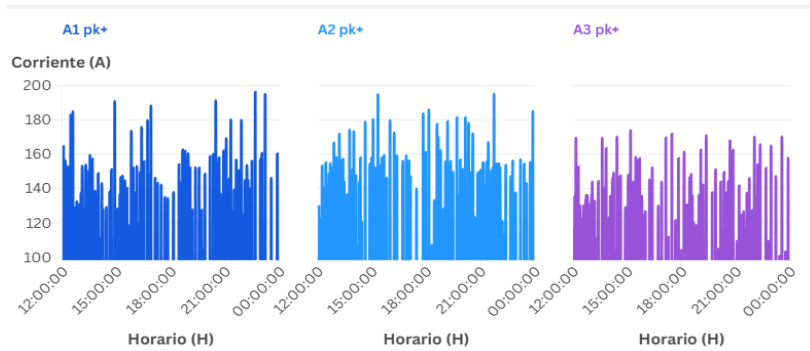


Fuente: Manual de instrucciones Analizador de red electrical trifásico 3945-B. Pág. 31

Figura 1-2. Conexión eléctrica de analizador de redes

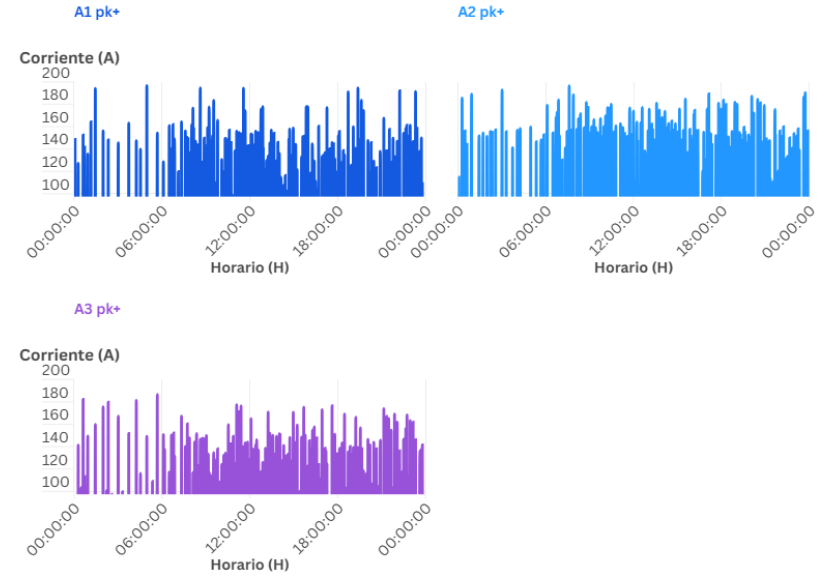
Para visualizar de forma clara los picos de corriente se presentan los resultados filtrados sobre 100 A, ver figuras 1.3 a 1.13. A1 corresponde a la fase 1, A2 corresponde a la fase 2 y A3 corresponde a la fase 3. Las gráficas obtenidas a través de las corrientes medidas, son las siguientes:

- En la figura 1-3 se muestra la gráfica de corrientes de arranque registradas el lunes 30 de junio de 2025 a partir de las 12:00.
- En la figura 1-4 se muestra la gráfica de corrientes de arranque registradas el miércoles 2 de julio de 2025.
- En la figura 1-5 se muestra la gráfica de corrientes de arranque registradas el martes 1 de julio de 2025.
- En la figura 1-6 se muestra la gráfica de corrientes de arranque registradas el jueves 3 de julio de 2025.
- En la figura 1-7 se muestra la gráfica de corrientes de arranque registradas el sábado 5 de julio de 2025.
- En la figura 1-8 se muestra la gráfica de corrientes de arranque registradas el viernes 4 de julio de 2025.
- En la figura 1-9 se muestra la gráfica de corrientes de arranque registradas el domingo 6 de julio de 2025.
- En la figura 1-10 se muestra la gráfica de corrientes de arranque registradas el lunes 7 de julio de 2025.
- En la figura 1-11 se muestra la gráfica de corrientes de arranque registradas el martes 8 de julio de 2025.
- En la figura 1-12 se muestra la gráfica de corrientes de arranque registradas el miércoles 2 de julio de 2025 de las 06:00 a 11:00 am.
- En la figura 1-13 se muestra la gráfica de corrientes de arranque registradas el miércoles 2 de julio de 2025 de las 06:30 a 07:30 am.



Nota. Mediciones realizadas en terreno.
Fuente: Elaboración propia.

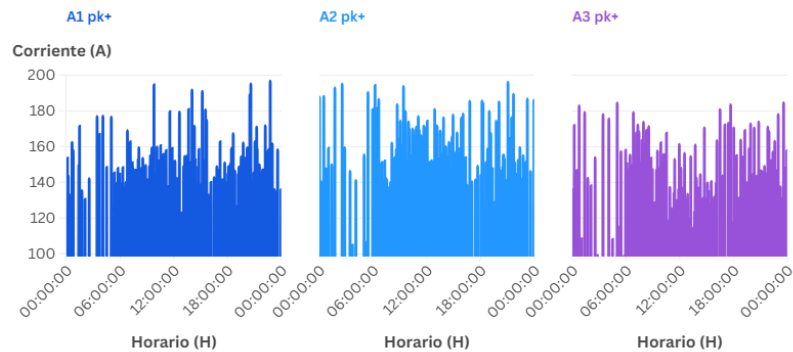
Figura 1-3. Gráficos de Corrientes de Arranque Lunes 30 de junio 2025



Nota.

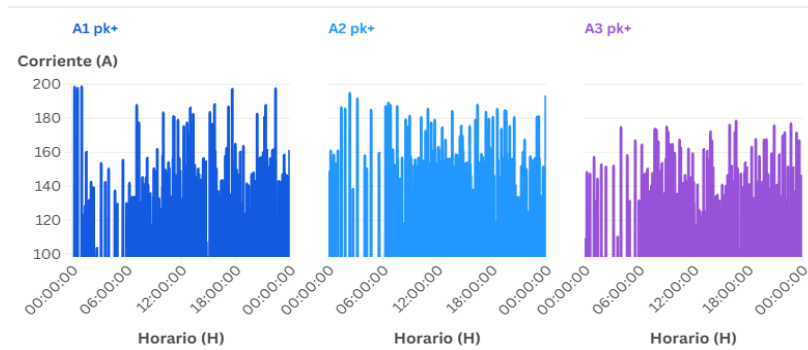
Mediciones realizadas en terreno.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-5. Gráficos de Corrientes de Arranque Martes 1 de julio 2025



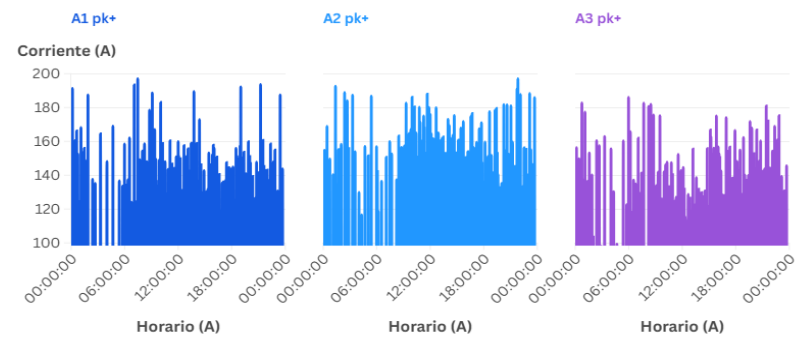
Nota. Mediciones realizadas en terreno.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-4. Gráficos de Corrientes de Arranque miércoles 2 de Julio 2025



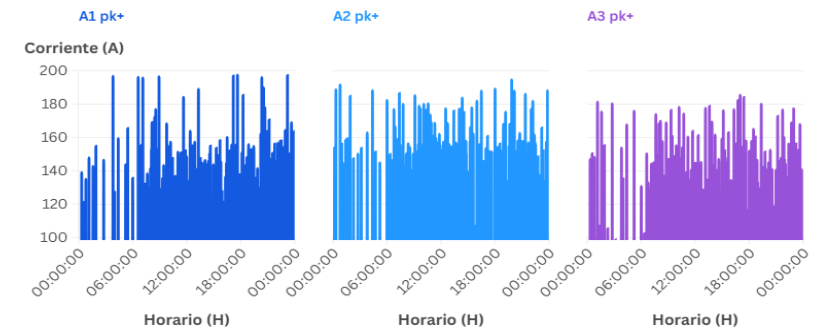
Nota. Mediciones realizadas en terreno.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-6. Gráficos de Corrientes de Arranque Jueves 3 de julio 2025



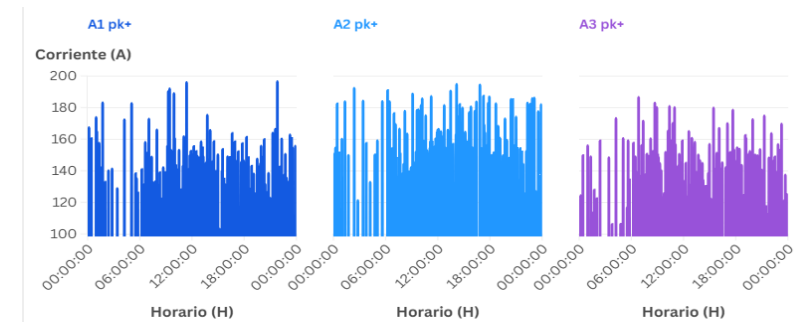
Nota. Mediciones realizadas en terreno.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-7. Gráficos de Corrientes de Arranque Sábado 5 de julio 2025



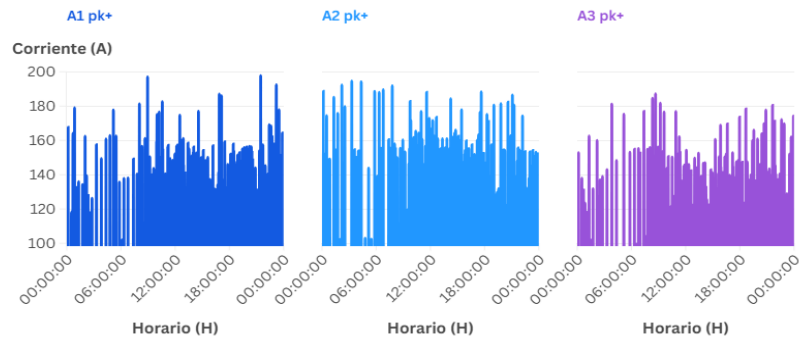
Nota. Mediciones realizadas en terreno.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-8. Gráficos de Corrientes de Arranque Viernes 4 de julio 2025



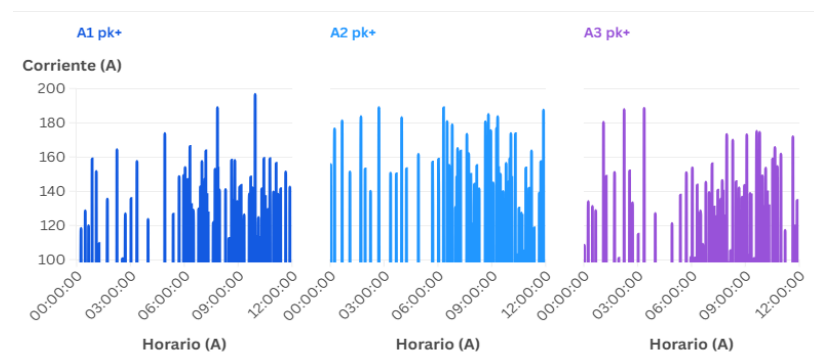
Nota. Mediciones realizadas en terreno.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-9. Gráficos de Corrientes de Arranque Domingo 6 de julio 2025



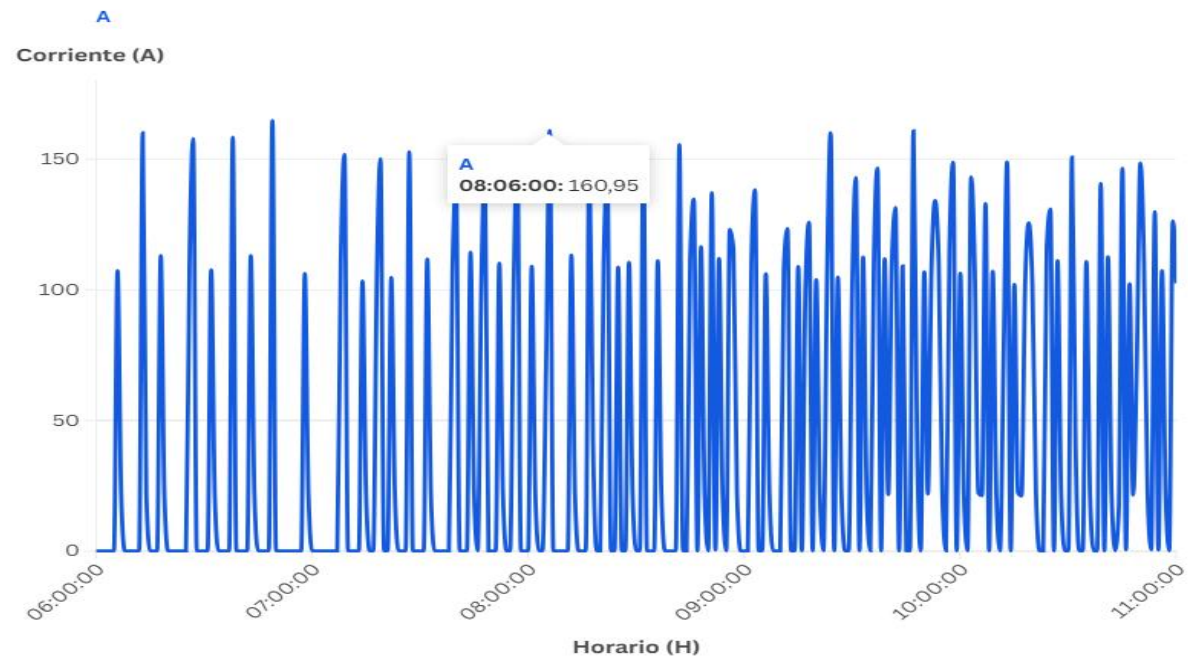
Nota. Mediciones realizadas en terreno.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-10. Gráficos de Corrientes de Arranque Lunes 7 de julio 2025



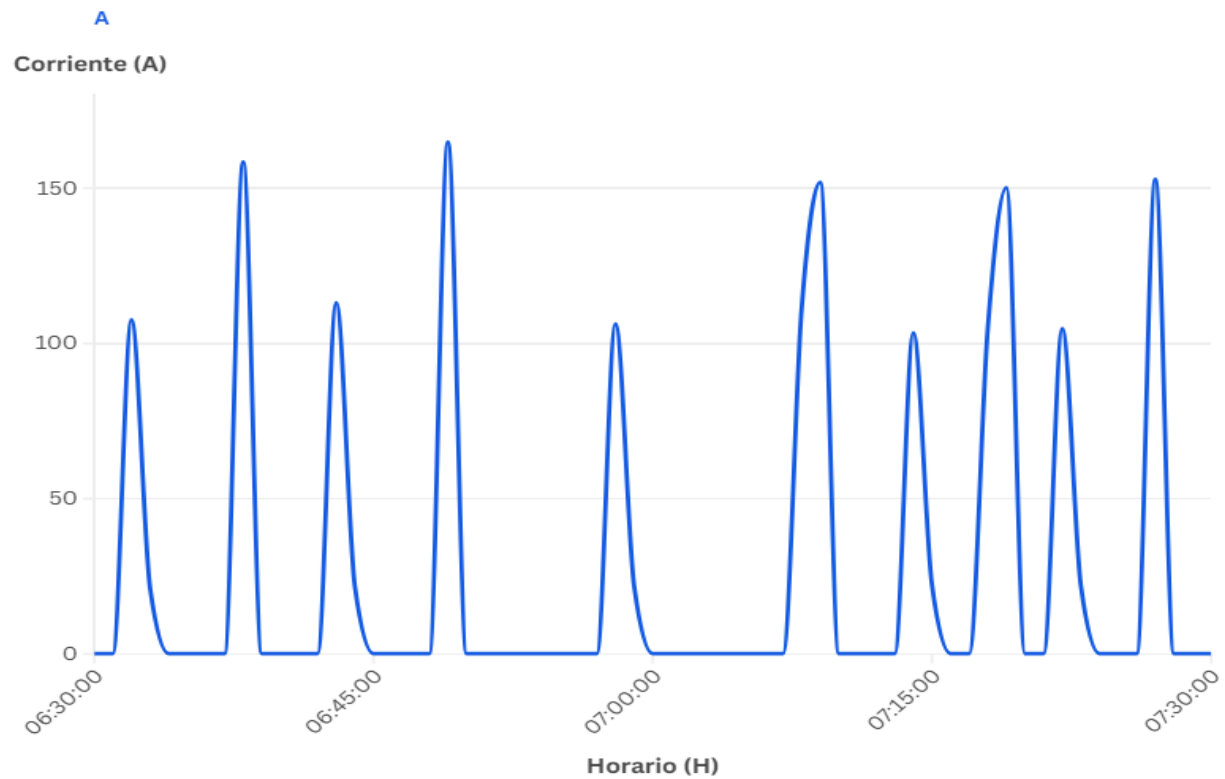
Nota. Mediciones realizadas en terreno.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-11. Gráficos de Corrientes de Arranque Martes 8 de julio 2025



Nota. Mediciones realizadas en terreno.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-12. Gráfico de Corriente de Arranque miércoles 2 de julio 2025 06:00-11:00 AM



Nota. Mediciones realizadas en terreno.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-13. Gráfico de Corriente de Arranque miércoles 2 de julio 2025 06:30-07:30 AM

Al analizar los gráficos obtenidos de las mediciones de corriente de arranque de las bombas, se puede observar que la cantidad de partidas varían según el horario, se puede presumir que en los horarios que hay mayor demanda de agua potable por parte de los habitantes del edificio, es ahí cuando más funcionarían las bombas.

En cuanto a las magnitudes de corriente alcanzadas producto de los arranques de los motores, se puede observar que en muchos casos los picos de corriente superan holgadamente los 100 A, lo cual está por sobre lo que correspondería para una partida estrella-triángulo (sistema de arranque que opera hasta la fecha de este trabajo) considerando las características técnicas de los motores detalladas en la sección 1.3.1, *Sala de Bombas*.

1.1.2 Importancia de resolver el problema

La solución a este problema beneficia directamente a la comunidad de residentes a nivel económico como también ayuda a mejorar el consumo de energía de las motobombas en cuanto a eficiencia y alargar la vida útil de las mismas.

1.1.3 Costo mensual general por electricidad edificio Los Pelícanos

La tabla 1-1. detalla los costos cuantificados en pesos chilenos por consumo de energía eléctrica producidos a nivel general por el edificio, los datos fueron tomados a contar del mes de agosto del año 2015 hasta el mes de noviembre del año 2024.

Tabla 1-1. Gastos generales por energía eléctrica (\$CLP)

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Ene	539.648	755.777	610.989	653.042	701.954	743.293	570.573	651.058	629.238	784.743
Feb	592.133	702.920	536.304	554.948	419.910	691.178	550.987	546.933	510.728	681.177
Mar	634.205	711.587	579.725	950.116	554.997	704.234	537.930	568.728	542.247	681.177
Abr	614.079	660.719	526.310	591.983	618.339	723.820	544.458	594.964	561.157	803.739
May	698.053	785.293	587.516	704.573	630.364	764.731	544.458	698.848	786.441	723.630
Jun	653.430	696.355	545.160	668.653	720.051	736.875	622.793	653.636	688.579	856.804
Jul	684.526	768.175	609.848	698.786	657.274	717.291	591.532	733.975	731.752	1.056.598
Ago	666.143	614.337	529.647	666.822	694.100	753.601	618.661	670.613	666.851	1.091.793
Sep	675.461	565.371	584.066	619.700	736.765	701.374	676.394	663.834	733.465	962.452
Oct	764.105	599.789	610.532	635.364	915.062	616.296	612.134	677.722	739.120	1.214.457
Nov	681.750	556.852	641.347	601.200	683.914	590.184	618.661	706.313	695.759	1.098.460
Dic	686.776	589.454	687.799	632.835	722.044	564.070	572.971	637.326	652.398	1.132.692

Fuente: Datos de consumo proporcionados por compañía distribuidora Chilquinta S.A.

Los gastos generales por consumo de energía eléctrica consideran los siguientes cargos (Anexo A):

- Cargo fijo mensual
- Cargo por uso del sistema de transmisión
- Cargo por servicio público (contempla el costo de financiamiento del Coordinador eléctrico nacional, panel de expertos y estudio de franja).
- Cargo para fondo de estabilización. Ley 21.472 (Aplica a clientes con consumos de energía mayor o superior a 350 kWh)
- Cargo por energía: Es el producto de la multiplicación entre la energía consumida (kWh) y el precio unitario.
- Cargo por demanda máxima de potencia leída

La tabla 1-2. contiene el consumo eléctrico del edificio, a partir de enero del año 2015, hasta noviembre del año 2024.

Tabla 1-2. Consumo de energía (kWh) Edificio Los Pelícanos

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Ene	6.000	6.000	5.280	4.440	5.580	4.020	3.900	4.620	3.960	4.440
Feb	4.980	5.280	4.440	4.140	2.400	3.540	3.720	3.720	3.240	4.080
Mar	5.220	5.220	4.920	4.680	3.900	3.660	3.600	3.900	3.540	4.080
Abr	4.980	4.680	4.320	4.020	4.020	3.840	3.660	4.140	3.720	4.980
May	6.060	6.000	5.040	5.220	4.140	4.200	3.660	4.800	4.800	4.260
Jun	5.100	5.220	4.560	4.860	4.380	3.960	4.380	4.500	4.020	4.920
Jul	5.220	6.000	5.280	5.040	3.780	3.780	4.080	5.040	4.380	5.100
Ago	5.040	5.040	4.380	4.620	4.020	4.620	4.380	4.440	4.020	4.800
Sep	5.100	4.800	4.800	4.140	4.620	4.140	4.860	4.380	4.560	4.080
Oct	6.120	5.280	5.100	4.980	4.680	4.320	4.620	4.440	4.620	5.100
Nov	5.160	4.680	4.320	4.500	4.080	4.080	4.380	4.680	4.260	4.500
Dic	5.220	5.040	3.960	4.920	3.480	3.840	3.960	4.080	3.900	4.680

Fuente: Datos de consumo proporcionados por compañía distribuidora Chilquinta S.A.

A partir del consumo (kWh) detallado en la tabla 1-2, se obtiene el costo neto por energía, esto quiere decir que este costo es solo por concepto de consumo, es importante considerar que el mismo está basado en un valor otorgado por la tarifa aplicada, ya que el costo neto es el producto entre el consumo (kWh) y el costo por energía (valor tarifario). A continuación, se detalla el costo neto por consumo de energía a partir de enero del año 2015 hasta el mes de noviembre del año 2024.

Tabla 1-3. Costo neto por consumo de energía (\$)

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Ene	342.599	430.716	398.151	368.394	422.945	367.852	356.870	422.848	387.673	452.837
Feb	322.101	403.062	334.809	343.667	185.761	323.953	340.399	340.477	287.714	421.156
Mar	337.624	410.851	371.004	388.507	301.862	334.932	340.399	358.585	314.356	421.156
Abr	322.101	368.347	325.760	336.919	311.149	351.404	334.506	380.651	330.339	514.060
May	391.955	472.240	380.054	437.493	320.438	384.350	334.906	441.336	508.549	439.737
Jun	351.421	408.586	343.858	407.322	390.398	362.384	400.790	413.754	425.910	533.492
Jul	378.690	465.444	398.151	422.408	336.917	345.913	373.339	476.393	462.375	698.622
Ago	363.172	390.973	330.286	395.543	366.246	422.783	400.790	421.928	408.973	729.372
Sep	367.496	351.074	368.915	355.942	422.312	378.857	444.713	416.227	463.908	619.604
Oct	440.995	391.403	394.198	377.395	481.428	395.330	369.635	426.730	470.012	820.794
Nov	371.819	347.091	358.314	340.785	372.951	373.368	400.790	449.797	433.389	722.791
Dic	369.164	373.790	398.125	372.581	462.951	351.404	414.732	392.874	396.764	751.699

Fuente: Datos de consumo proporcionados por compañía distribuidora Chilquinta S.A.

- Costo de energía

Tal como se mencionó anteriormente, existe un costo por energía determinado por la tarifa aplicada por la distribuidora, en este caso es la BT3PPP. La siguiente fórmula expresa la relación entre el consumo (kWh) y el valor a pagar (costo neto), la cual determina el costo de energía.

$$\text{Costo de energía} = \frac{\text{Costo pagado por EE (\$)}}{\text{Consumo de energía (kWh)}} \left[\frac{\$}{\text{kWh}} \right]$$

La tabla 1-4. detalla el costo de energía, omitiendo los periodos mencionados en las explicaciones de las tablas anteriores.

Tabla 1-4. Costo unitario de energía (\$/kWh)

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Ene	57,1	71,79	75,41	82,97	75,8	91,51	91,51	91,53	97,9	101,99
Feb	64,68	76,34	75,41	83,01	77,4	91,51	91,51	91,53	88,8	103,22
Mar	64,68	78,71	75,41	83,01	77,4	91,51	91,51	91,94	88,8	103,22
Abr	64,68	78,71	75,41	83,81	77,4	91,51	91,4	91,94	88,8	103,22
May	64,68	78,71	75,41	83,81	77,4	91,51	91,5	91,95	105,95	103,22
Jun	68,91	78,27	75,41	83,81	89,13	91,51	91,5	91,95	105,95	108,43
Jul	72,55	77,57	75,41	83,81	89,13	91,51	91,5	94,52	105,57	136,98
Ago	72,06	77,57	75,41	85,62	91,11	91,51	91,5	95,03	101,73	151,95
Sep	72,06	73,14	76,86	85,98	91,41	91,51	91,5	95,03	101,73	151,86
Oct	72,06	74,13	77,29	75,78	102,87	91,51	91,49	96,11	101,73	160,94
Nov	72,06	74,16	82,94	75,73	91,41	91,51	91,5	96,11	101,73	160,62
Dic	70,72	74,16	100,54	75,73	133,03	91,51	104,73	96,29	101,73	160,62

Fuente: Datos de consumo proporcionados por compañía distribuidora Chilquinta S.A.

- Demandas de lectura y facturación

Para determinar el costo a pagar por potencia la empresa distribuidora considera dos tipos de demandas, la demanda leída y demanda facturada cada una de ellas se mide en kW.

En la tabla 1-5. se detallan la demanda leída/demanda facturada mensual desde enero de 2016 hasta noviembre del año 2024, se debe considerar la omisión de ambas demandas de octubre de año 2021.

Tabla 1-5. Demanda leída / Demanda facturada (kW)

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Ene	10,8/12,9	10,8 /12,3	9,0 /14,7	9,60/ 22,1	8,90/10,5	10,6/10,6	10,7/12,1	15,7/15,7
Feb	11,4/12,9	11,4 /12,3	9,7 /14,7	8,80/22,1	8,30/10,5	9,2/10,2	9,2/12,1	9,4/11,5
Mar	9,60/12,9	41,4 /41,4	9,0 /14,7	10,0/22,1	8,30/10,5	9,5/10,2	9,8/12,1	9,7/11,5
Abr	11,4/12,9	12,0 /17,0	18,6 /18,6	9,50/22,1	8,30/10,5	10,2/10,2	10,1/12,1	12,3/12,3
May	12,0/12,6	12,0 /17,0	18,6 /18,6	9,50/22,1	8,30/10,5	12,5/12,5	10,9/11,6	12,8/12,8
Jun	11,4/12,6	12,0 /17,0	18,6 /18,6	9,70/22,1	9,60/10,5	10,7/11,6	11,4/11,6	12,8/12,8
Jul	12,6/12,6	10,8 /17,1	18,6 /18,6	9,90/22,1	10,1/10,6	11,3/11,9	10,7/11,6	12,7/12,8
Ago	12,0/12,6	11,4/16,9	19,0/ 19,0	11,0/18,1	10,2/10,2	11,5/12,0	10,7/11,5	12,7/12,8
Sep	11,4/12,6	10,8/16,9	10,2/18,8	9,90/18,1	10,6/10,6	10,9/12,0	11,6/11,6	12,7/12,8
Oct	10,8/12,3	11,8/17,0	25,2/25,2	10,1/10,5	10,4/10,2	11,6/12,1	11,2/11,5	12,7/12,8
Nov	10,8/12,3	11,8/14,9	10,5/22,1	10,5/10,5	10,2/9,4	10,3 /12,1	10,4/11,5	12,7/12,8
Dic	10,8/12,3	12,1/14,7	10,5/22,1	9,40/10,5	10,1/9,4	9,4 /12,1	9,8/11,5	12,7/12,8

Fuente: Datos de consumo proporcionados por compañía distribuidora Chilquinta S.A.

- Demanda Leída

Es la demanda tomada directamente del medidor físico, esta toma considera un periodo mensual.

- Demanda Facturada

Es la demanda sobre la que empresa distribuidora cobra. Puede ser igual a la medida o ajustada según la tarifa. En este caso BT3PPP.

Al observar los datos de demanda leída y facturada (Tabla 1-5) correspondiente al mes de marzo del año 2018, se puede identificar un alza significativa de consumo en comparación a los meses anteriores, este evento se atribuye a un consumo atípico por el uso de una soldadora eléctrica tradicional produciendo un alza por arrastre de la demanda facturada hasta el año 2022.

Con la finalidad de simplificar el análisis y a la vez tener rigurosidad con los datos, se usaron los promedios de los siguientes costos:

- Pago mensual general
- Consumo de energía
- Costo de energía

De igual forma, se calculan sus diferencias (incremento o decremento) anual de cada costo para poder graficarlos (tabla 1-6.).

Tabla 1-6. Promedios de pagos/consumos y variaciones por consumo de energía

Año	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Pago mensual general [\$]	667.219	587.437	664.835	671.231	692.246	588.463	650.329	661.478	905.003
Variación % de pago	1,5%	-12%	13,2%	1%	3,1%	-15%	10,5%	1,7%	36,8%
Consumo de energía [kWh]	5.270	4.700	4.630	4.090	4.000	4.053	4.395	4.085	4.576
Variación % de consumo de energía	-1,5%	-10,8%	-1,5%	-11,7%	-2,2%	1,32%	8,4%	-7%	12%
Costo de energía [\$/kWh]	76,1	78,4	81,9	89,4	91,5	92,8	93,6	99,2	125,9
Variación % de costo unitario de energía	11,9%	3%	4,5%	9,2%	2,3%	1,4%	0,9%	5,9%	27%

Fuente: Datos de consumo proporcionados por compañía distribuidora Chilquinta S.A.

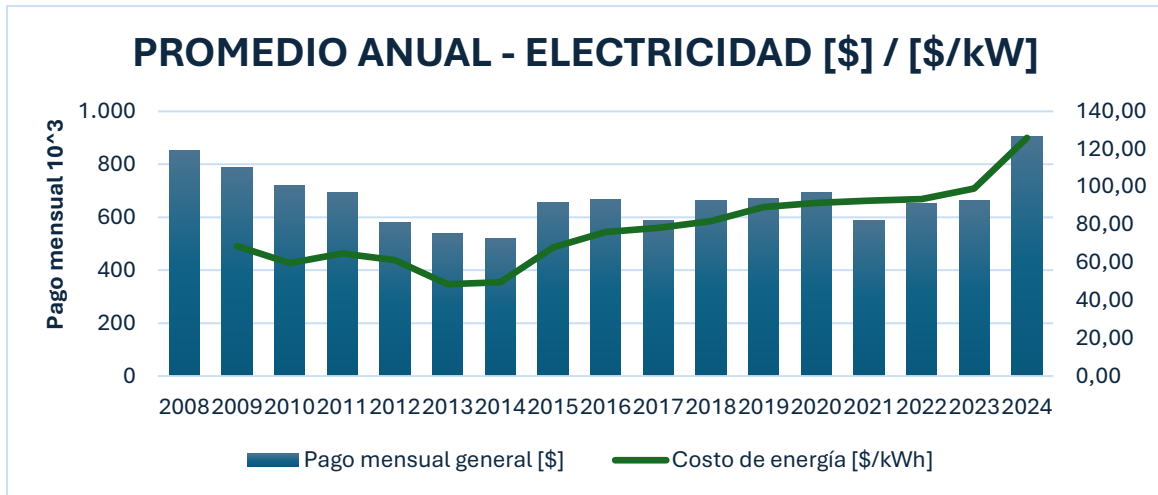


Figura 1-14. Promedio de consumo general y costo de energía

Se puede observar en la figura 1-14. una clara tendencia descendiente desde el año 2008 hasta el año 2014 y un claro ascenso desde el año 2021 hasta el año 2024, particularmente este último año tuvo un incremento significativo del consumo general y del costo de energía.

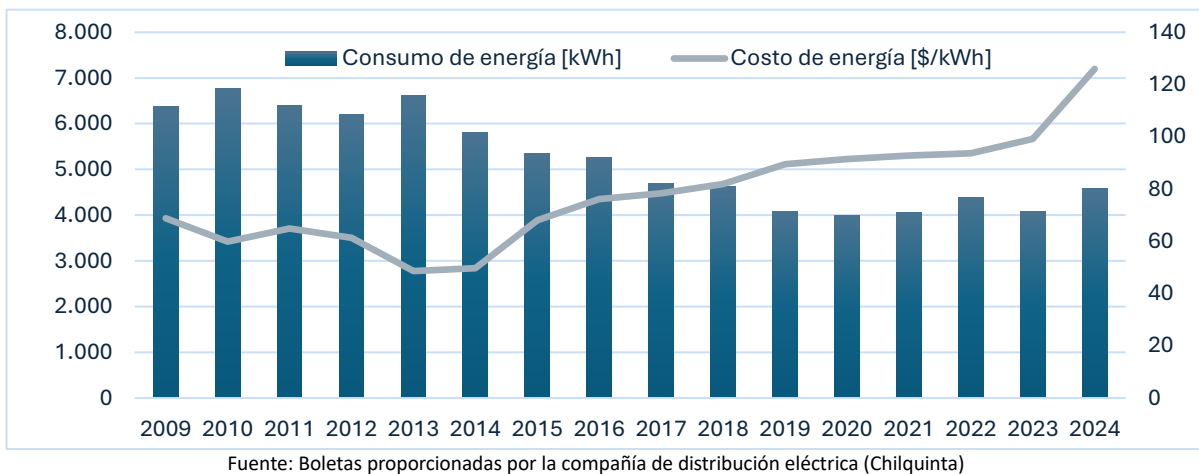


Figura 1-15. Gráfica de promedio de consumo de energía y costo de energía

El consumo de energía disminuyó significativamente desde el año 2013 hasta el año 2020, sin embargo, ese descenso no se reflejó en el costo pagado por la energía, debido al incremento del costo unitario.

1.2 SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

A través del diseño de un sistema de control, se puede programar, medir y controlar el funcionamiento de las motobombas incluyendo sus respectivas partidas. De esta forma se detectará rápidamente alguna anomalía en el consumo eléctrico de las máquinas.

1.3 REQUERIMIENTOS

Para una mayor comprensión de los requerimientos, a continuación, se detallan las características técnicas de los equipos y sistemas involucrados en este proyecto.

1.3.1 Sala de Bombas

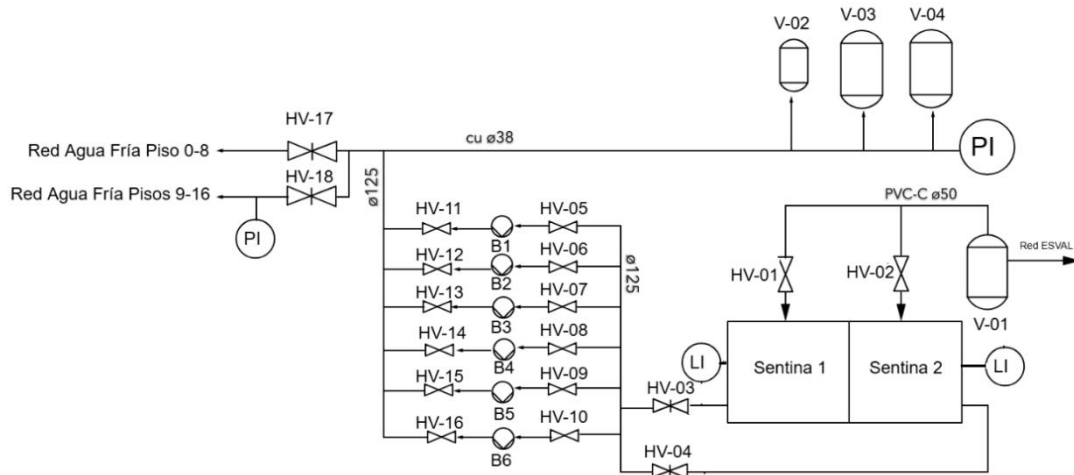
En primer lugar, se detalla las características técnicas del sistema que opera como impulsor de agua a presión desde el piso -1 del edificio.

La sala de bombas recibe el agua desde la compañía ESVAL, es recibida por el hidrotanque V-01, el cual impulsa el agua a presión a las sentinas 1 y 2 a través de una tubería de PVC-C de un diámetro de 50 mm pasando por las válvulas manuales HV-01 y HV-02 respectivamente. (Ver figura 1-16).

Posteriormente el agua que sale de cada una de las sentinas a través de un ducto de cobre de 125 mm de diámetro pasando por las válvulas HV-03 y HV-04, es distribuida a cada una de las seis bombas (B1-B2-B3-B4-B5-B6) pasando previamente por las válvulas HV-05, HV-06, HV-07, HV-08, HV-09 y HV-10 respectivamente.

Para amortiguar y mantener la presión de la red se encuentran instalados tres hidrotanques: V-02, V-03 y V-04; desde los cuales se mide y controla la presión de la red con un manómetro (PI), además se controla las partidas de las motobombas a través de un control por presión utilizando como interruptores cinco presóstatos.

Los pisos inferiores al piso 8 son alimentados con agua fría controlada por la válvula H-17 y los pisos superiores son alimentados con agua fría por otro ducto controlado por la válvula HV-18. Además, se mide la presión con un manómetro.



Fuente: Diagrama elaborado de acuerdo con los planos del edificio.

Figura 1-16. Diagrama P&ID sala de bombas



Fuente: Fotografía tomada por el autor durante visita a terreno, [septiembre, 2024].

Figura 1-17. Motobombas Edificio Los Pelícanos

1.3.1.1. Motobombas

Como elemento principal se tiene seis motobombas con las siguientes características (tabla. 1-7).

Tabla 1-7. Características técnicas de Motobombas

Característica	Dato	Descripción
Marca	Pedrollo	
Modelo	PUMP 2CP	Bomba centrífuga de doble impulsor
Succión/Impulsor	32/210A	Diámetro de la conexión de succión/Diámetro del impulso
Caudal	Q 40/250 l/min	Cantidad de agua que puede bombear entre 40 y 250 litros por minuto dependiendo de la altura en la que esté trabajando
Altura de Bombeo	H 111/74 m	Capacidad máxima de elevación. 111m como máximo y 74m como mínimo. Dependiendo del caudal
Altura de Operación	H max 112 m/H min 74	Altura máxima de elevación en condiciones óptimas, 112 metros. Altura mínima de elevación, 74 metros.
Potencia de Consumo	7,5 kW	Cantidad de energía eléctrica que consume la motobomba
Potencia	10 HP/7.457 W	Capacidad del motor de la motobomba
Frecuencia	50 Hz	Ciclos por segundo de la corriente
Código de Funcionamiento	S1	El motor está diseñado para operar en un régimen permanente
Velocidad de Rotación	2900 rpm	2900 revoluciones por minuto
Aislamiento del Motor	F	Clase de medición de resistencia al calor. En este caso soporta hasta 155 °C sin degradarse
Índice de Protección	IP44	Índice de protección frente a elementos externos. El número 44 significa que el motor está protegido contra elementos sólidos mayores a 1 mm y contra salpicaduras de agua.
Voltaje en Delta	380/400V 16A	Voltaje de operación en conexión delta, con una corriente de 16A.
Voltaje en Estrella	660/690V 9,2A	Voltaje de operación en conexión estrella, con una corriente de 9,2A.

Fuente: Datos obtenidos en terreno a partir de la placa técnica del fabricante Pedrollo, septiembre 2024



Fuente: Fotografía tomada por el autor durante visita a terreno, [septiembre, 2024].

Figura 1-18. Placa de características de motobomba Pedrollo.

1.3.1.2. Hidrotanque V-01

El primer hidrotanque permite amortiguar la presión de entrada a las sentinas, el cual puede alcanzar una presión máxima de 10 bar, con temperatura máxima de 49° y una mínima de 1°.



Fuente: Fotografía tomada por el autor durante visita a terreno, [junio, 2025].

Figura 1-19. Características Técnicas de Hidrotanque V-01

1.3.1.3. Hidrotanque V-02

El segundo hidrotanque (figura 1-20.) corresponde a la marca Varem, puede alcanzar una presión máxima de 10 bar con una capacidad máxima de 200 litros.



Fuente: Fotografía tomada por el autor durante visita a terreno, [junio, 2025].

Figura 1-20. Hidrotanque 200 L V-02

1.3.1.4. Hidrotanques V-03 V-04

Ambos hidrotanques (figura 1-21.) cuentan con las mismas características técnicas indicadas en la tabla 1-8.

Tabla 1-8. Características Técnicas hidrotanques V-03 V-04

V-03 - V-04	
Marca	Varem
Tipo	MAXIVAREM LS
Año	2020
Volumen	750 l
Temperatura máxima	99°
Temperatura mínima	-10°
Presión Máxima	10 bar
Presión de Prueba	15 bar
Precarga	2 bar
Intervalo de precarga	0,5-3,5 bar

Fuente: Datos obtenidos en terreno a partir de la placa técnica, junio 2025



Fuente: Fotografía tomada por el autor durante visita a terreno, [junio, 2025].

Figura 1-21. Hidrotanques V-03 V-04

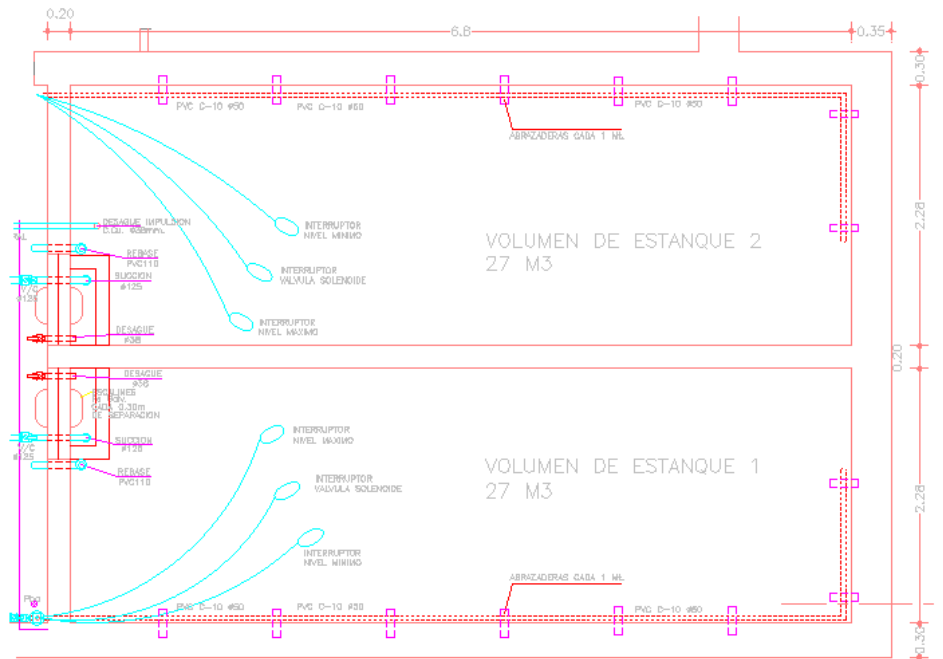
1.3.1.5. Sentinas

El almacenamiento del agua se realiza en dos sentinas de 27 m³ cada una. Además, cuentan con sensores de nivel (mínimo-máximo) más una válvula solenoide.

Tabla 1-9. Dimensiones físicas de cada estanque

Volumen	27 m ³
Alto	2,37 m
Ancho	2,28 m
Largo	6,8 m

Fuente: Datos recopilados del Plano de Proyecto de Instalación de Agua Potable. Edificio Pelicanos.



Fuente: Plano "Edificio Pelicanos" Parker y Sanguinetti

Figura 1-22. Plano superficie sentinas

1.3.1.6. Presóstatos

Los presóstatos electromecánicos instalados como sensores de nivel de presión son de marca Square D, modelo 9013FYG32 (figura 1-23.).

Cada uno de los presostatos se encuentran ajustados de acuerdo con un rango de presión, al detectar una presión de 5,8 bar se comanda la partida de las bombas asignadas según el orden programado en el controlador ubicado en el tablero eléctrico (figura 1-24.). La presión máxima límite es de aproximadamente 8 bar, en donde los presóstatos comunican al controlador para que este ordene la detención de las bombas.

También pueden identificar sobrepresión en la red que es comunicada al controlador, que a su vez impiden que las bombas funcionen mientras exista tal sobrepresión, en este caso hay más de un presostato ajustados a los mismos niveles de presión para evitar sobrepresiones por la falla de uno de estos sensores.



Fuente: Fotografía tomada por el autor durante visita a terreno, [junio, 2025].

Figura 1-23. Presóstatos Sala de bombas

1.3.1.7. Válvulas HV-03 y HV-04

Para controlar la apertura o cierre de la salida de agua desde las sentinas operan dos válvulas de compuerta, una válvula para cada sentina (figura 1-24.). Estas válvulas pueden operar hasta una presión máxima de 16 bar y operan en tuberías de cobre de 125 mm de diámetro.



Fuente: Fotografía tomada por el autor durante visita a terreno, [junio, 2025].

Figura 1-24. Válvula de compuerta

1.3.1.8. Válvulas HV-01 y HV-02

Para controlar la apertura o cierre del ingreso de agua a las sentinas se utilizan las válvulas HV-01 y HV-02, las cuales son válvulas de bola de accionamiento manual y operan en tuberías de cobre de 50 mm de diámetro.

1.3.1.9. Válvulas HV-05, HV-06, HV-07, HV-08, HV-09 y HV-10

Para controlar la apertura o cierre de agua a cada bomba, el sistema cuenta con 6 válvulas de bola de 16 bar y operan en tuberías de cobre de 50 mm de diámetro.

1.3.1.10. Válvulas HV-11, HV-12, HV-13, HV-14, HV-15 y HV-16

Para controlar la apertura o cierre de agua a la salida de cada bomba, el sistema cuenta con 6 válvulas de bola de 16 bar y operan en tuberías de cobre de 50 mm de diámetro.

1.3.1.11. Válvulas HV-17 y HV-18

Para controlar la apertura y cierre de agua desde la sala de bombas se utilizan dos válvulas mariposa, una válvula (figura 1-25.) para los primeros 8 plantas del edificio y la segunda para las siguientes, hasta la sala de calderas.

Este tipo de válvula permite regular el caudal de agua, es de accionamiento manual y opera a una presión nominal de 16 bar operando en tuberías de cobre de 125 mm de diámetro.



Fuente: Fotografía tomada por el autor durante visita a terreno, [junio, 2025].

Figura 1-25. Válvula Mariposa



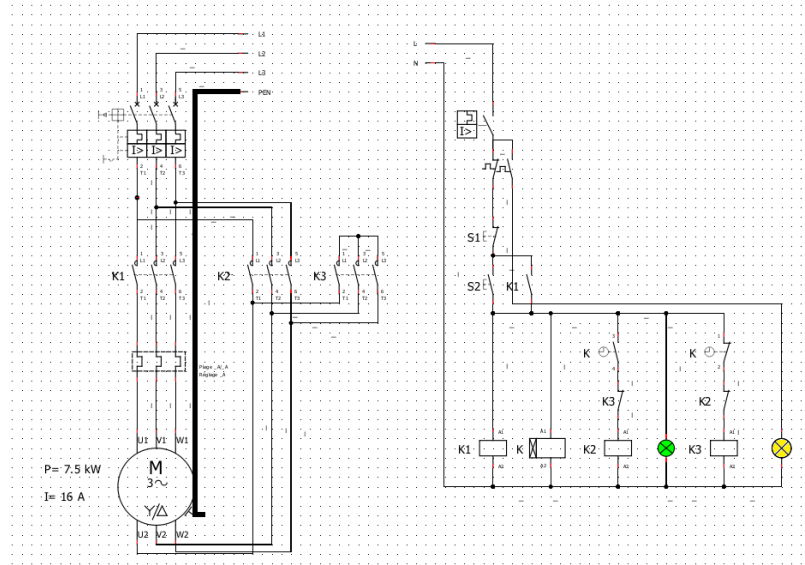
Fuente: Fotografía tomada por el autor durante visita a terreno, [junio, 2025].

Figura 1-26. Controlador de presóstatos

1.3.1.12. Control eléctrico

Las partidas de las bombas están controladas por arranque estrella-delta, el cual está ajustado por temporizadores quienes luego de dos segundos de partir con conexión estrella, pasa a la conexión delta.

También las partidas se pueden configurar como modo automático (actual) y modo manual a través de un selector, de igual forma se indica el funcionamiento de una bomba a través del encendido de una luz piloto color verde. Las fallas se alertan a través de una luz piloto color amarillo.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-27. Diagrama de fuerza y comando

El sistema cuenta con las siguientes protecciones y elementos de control para cada uno de los motores.

Tabla 1-10. Protecciones y elementos de control

Disyuntor Termomagnético de 25 A Trifásico
Contactador de Línea S-N12
Contactador Estrella S-N12
Contactador Delta S-N12
Temporizador D6DS
Relé Térmico 055
Controlador presóstatos

Fuente: Levantamiento en terreno.

Cabe mencionar que al momento de la recopilación de la información del sistema de control y las máquinas se considera el no funcionamiento de la motobomba número cinco por falla técnica.



Fuente: Fotografía tomada por el autor durante visita a terreno, [junio, 2025].

Figura 1-28. Interior de Tablero de Protección y Comando

1.3.2 Red hidráulica

La red hídrica del edificio (figura 1-30.) considerada para este proyecto inicia en los estanques 1 y 2 ubicados en la planta -1 hasta la sala de calderas ubicada en el nivel de la azotea del edificio.

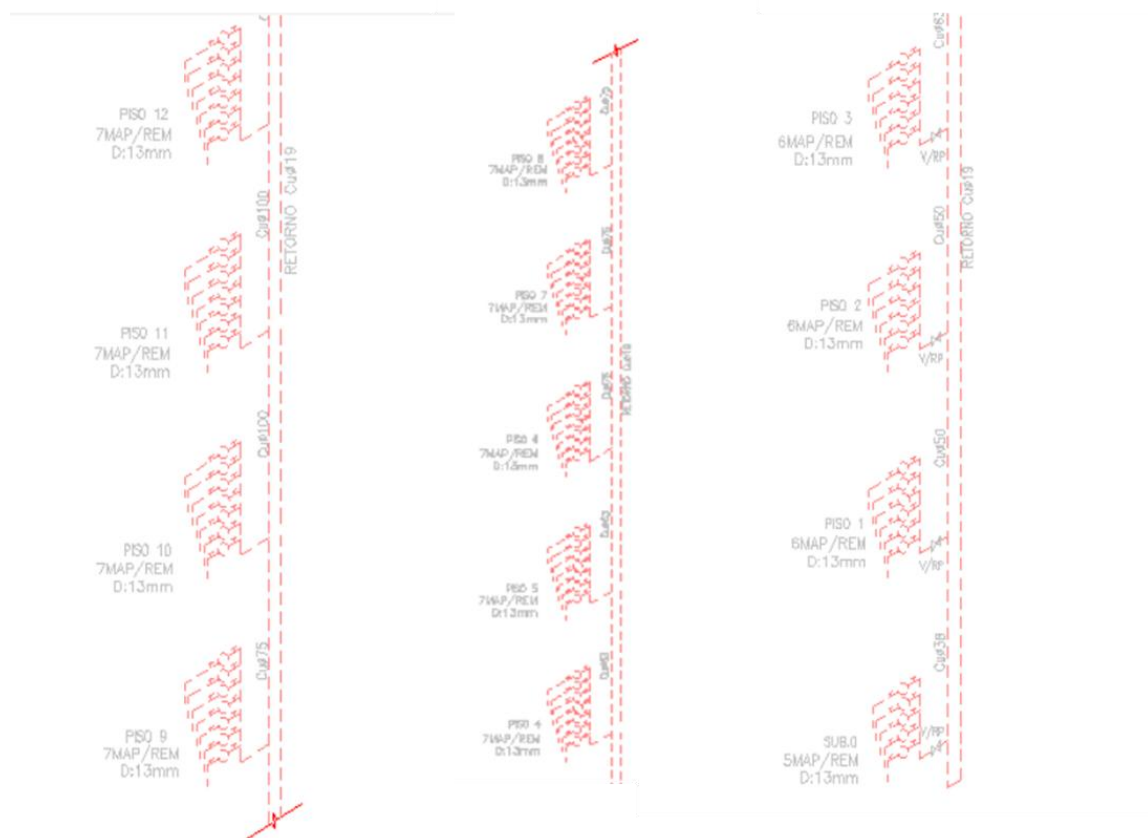


Fuente: Fotografía tomada por el autor durante visita a terreno, [junio, 2025].

Figura 1-29. Tuberías de red hidráulica con despiche - Piso 8

La red de agua fría cuenta con dos tuberías de HDPE de $\varnothing 110$, una de ellas abarca desde el piso -1 hasta el piso 8 y la segunda desde el piso -1, hasta la sala de calderas. cada piso se ubican siete arranques con sus respectivos medidores para cada departamento.

La red de agua caliente se distribuye a través de una tubería de cobre de $\varnothing 90$, recubierta con espuma de polietileno, esta red abarca desde la sala de calderas hasta el piso 0.



Fuente: Plano "Edificio Pelicanos" Parker y Sanguinetti

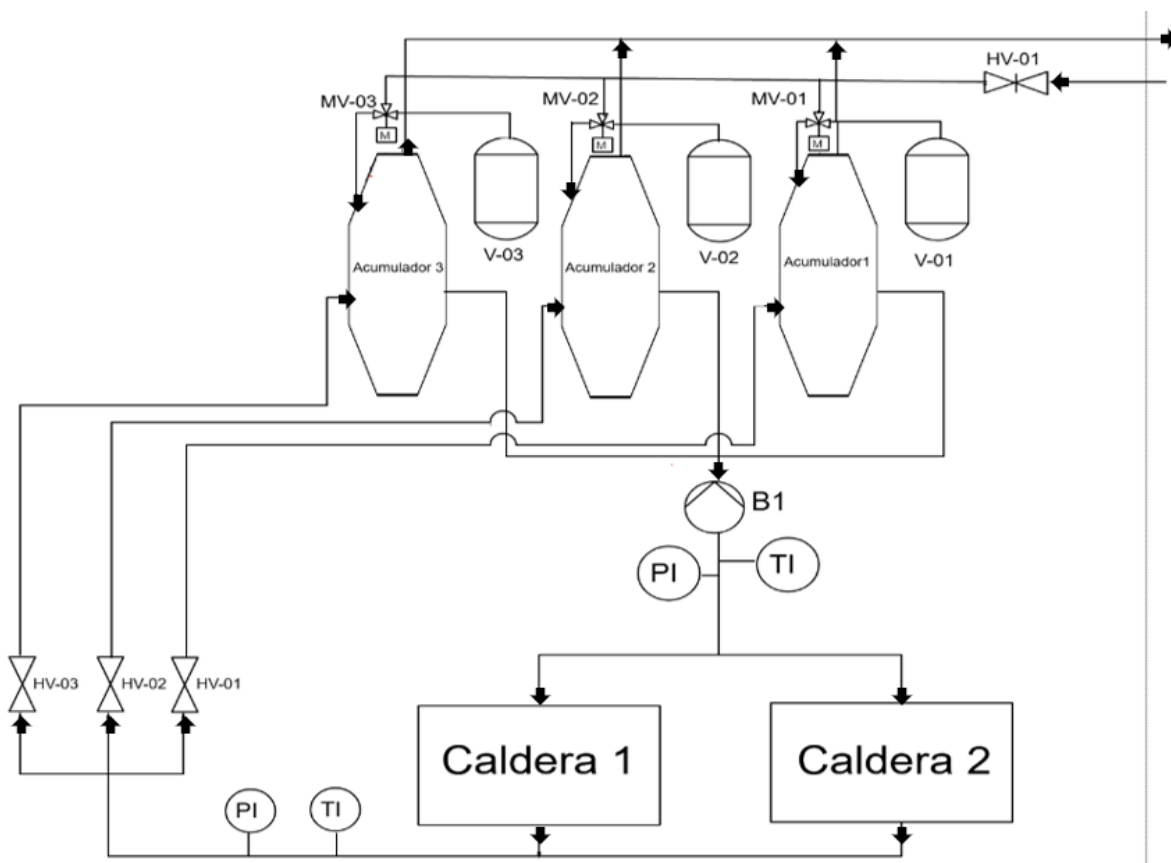
Figura 1-30. Esquema isométrico agua caliente

1.3.3 Sala de calderas

El tratamiento del agua caliente se realiza en la sala de caderas, en donde llega el agua por medio de las tuberías HDPE.

El ingreso del agua es regulado por la válvula HV-01, luego se distribuye a tres acumuladores de agua, en donde se almacena a una temperatura ajustada y en caso de necesidad de elevarla, se comanda la partida de una o de las dos calderas.

Cada uno de los acumuladores cuentan con un hidrotanque (V-01, V-02 y V-03) para estabilizar y mantener la presión de agua en la red.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-31. Diagrama P&ID Sala de Calderas

En la parte superior de cada uno de los acumuladores se halla instalada una válvula de mezclado (MV01, MV-02 y MV-03) (Figura 1-32.) para agua fría y caliente con la finalidad de despachar agua temperada a las viviendas.

El agua llega a las calderas impulsada por la bomba B1, luego de que el agua es calentada a la temperatura ajustada en la caldera regresa a alguno de los acumuladores, que

como se menciona anteriormente, producen el mezclado para ser despachada a las viviendas.



Fuente: Fotografía tomada por el autor durante visita a terreno, [junio, 2025].

Figura 1-32. Válvula de mezclado

1.3.3.1. Acumuladores de agua

El sistema cuenta con tres acumuladores instalados (figura 1-33.), sin embargo, solamente se encuentran dos en uso.

A continuación, se detallan las características técnicas de cada acumulador:

Tabla 1-11. Datos técnicos de Acumuladores

Acumulador 1 - 2 - 3	
Marca	ACV
Modelo	Jumbo 800
Año	2006
Serie	5084
Temperatura máxima	90°
Presión máxima de trabajo	5bar/500Kpamax
Calefacción	125 litros
Agua	675 litros
Temperatura regulada	60-65°
Temperatura real	55°

Fuente: Datos obtenidos en terreno a partir de la placa técnica, junio 2025



Fuente: Fotografía tomada por el autor durante visita a terreno, [junio, 2025].

Figura 1-33. Acumuladores de Agua



Fuente: Fotografía tomada por el autor durante visita a terreno, [junio, 2025].

Figura 1-34. Ajustador de temperatura de acumulador

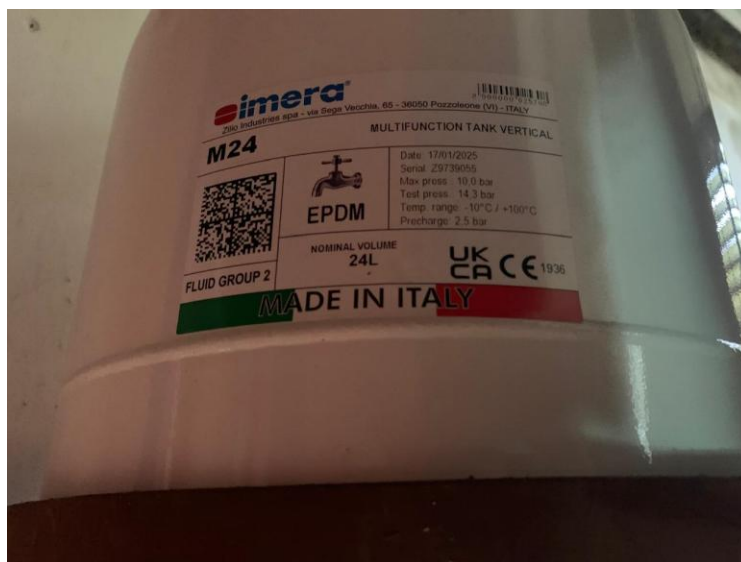
1.3.3.2. Hidrotanques

En la parte posterior de cada acumulador se encuentra un hidrotanque (figura 1-35.) para estabilizar la presión del agua, tal como uno de los acumuladores no se encuentra en funcionamiento, también su correspondiente hidrotanque se encuentra fuera de servicio.

Tabla 1-12. Características Técnicas de hidrotanques sala de calderas

V-01 V-02 V-03	
Marca	Imera
Modelo	M24
Serie	Z9739055
Fecha	17-01-2025
Presión Máxima	10 bar
Presión de prueba	14,3 bar
Temperatura máxima	100°
Temperatura mínima	-10°
Precarga	2,5 bar
Volumen	24 litros

Fuente: Datos obtenidos en terreno a partir de la placa técnica, junio 2025



Fuente: Fotografía tomada por el autor durante visita a terreno, [junio, 2025].

Figura 1-35. Hidrotanque sala de calderas.

1.3.3.3. Calderas

Las calderas (figura 1-34.) están fabricadas de acuerdo con la norma EN 303 – parte 1, el vaso de presión está hecho con acero de carbono, tipo S235JRG2, normado por EN 10025. Las tuberías están hechas de acero ST 37.0, de acuerdo con la norma DIN 1626.

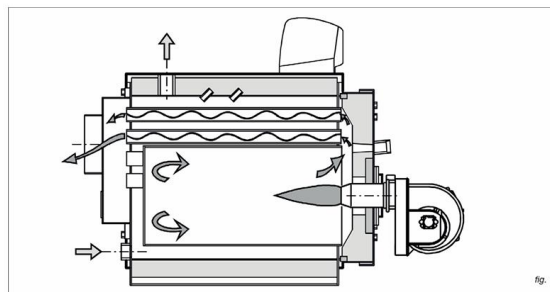
El funcionamiento de la caldera es a combustión presurizada y está adaptada para el uso gasóleo (diésel) y a gas (metano y Gas licuado de petróleo).

Tabla 1-13. Características generales de calderas

Caldera 1 - 2	
Marca	Modal
Modelo	64
Potencia útil	64 kW
Capacidad	86 litros

Fuente: Manual de usuario Caldera Modal

La caldera está construida con acero electrosoldado con cámara de combustión ciega. La puerta interior es de acero, aislada con fibra de cerámica y el cuerpo recubierto con lana de roca con un espesor de 60 mm.



Fuente: Manual de usuario Caldera Modal.

Figura 1-36. Caldera modal

La caldera 1 está ajustada a 80° y la caldera 2 a 70°, las partidas de ambas están comandadas de acuerdo con la temperatura del agua que se encuentra en los acumuladores.



Fuente: Fotografía tomada por el autor durante visita a terreno, [junio, 2025].

Figura 1-37. Fotografía Calderas

1.3.3.4. Motor sala de calderas

Para impulsar el agua desde los acumuladores hacia las calderas se encuentra instalada una bomba de siguientes características:

Tabla 1-14. Datos técnicos motobomba sala de bombas.

Marca	Nocchi		
Tipo	AMM 71Z AA2		
50Hz	Δ/Y	230/400 V	0,37 kW
60Hz	Δ/Y	265/450 V	0,44 kW
50Hz	Δ/Y	218-242/380-420 V	2,1/1,2 A
60Hz	Δ/Y	250-277/440-480 V	2,1/1,2 A

Fuente: Datos obtenidos en terreno a partir de la placa técnica, junio 2025

1.3.3.5. Bombas recirculadoras

Para mantener el flujo continuo de agua en la red de tratamiento de agua caliente, se hallan instaladas dos bombas recirculadoras (Tabla 1-15).

Al producirse una demanda de agua caliente a través de la apertura de una llave en alguna de las viviendas, se necesita que esta llegue a ese punto de forma rápida y a la temperatura esperada. La bomba recirculadora impulsa el agua caliente para cumplir con la demanda.

Tabla 1-15. Características técnicas de bombas recirculadoras.

Datos generales	Marca	DAB
	Modelo	VS 35/150 M
	Código	60182215H
	Long. Entre conexiones (mm)	150
	Conexión roscada	1,5"
Datos Eléctricos	Alimentación	1x230 V
	Potencia máx (W)	55
	Corriente (A)	0,24
	Capacidad condensador	1,7 μ F
	Voltaje condensador	450 V
Clase energética		B
Temperatura máxima		90°

Fuente: Datos obtenidos en terreno a partir de la placa técnica, junio 2025

1.4 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

A continuación, se dan a conocer tres alternativas de solución para el problema de origen que éste trabajo busca resolver.

1.4.1 Impedir la simultaneidad entre el funcionamiento de las bombas y ascensores

A través de sensores de corriente instalados en los motores de los ascensores detectar el funcionamiento de los mismos, bloqueando la partida de todo el conjunto de bombas. No se propone controlar la corriente de partida de las bombas mediante ningún equipo de control nuevo.

1.4.2 Programación de partidas con temporizadores

Programar un nuevo ciclo de funcionamiento con temporizadores ya instalados, habilitando las partidas de las bombas después de 5 minutos de finalizar el funcionamiento de la última que operó. También se propone un sistema de control de arranque con relés controladores.

1.4.3 Mejorar la secuencia de partidas y bajar la corriente de arranque de las bombas

Modificando las condiciones del diseño que operan a la fecha de este trabajo, se propone cambiar la lógica de control de las partidas de las bombas. También se propone cambiar el sistema de control de arranque de las bombas.

1.5 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Para elegir una de las alternativas de solución, es importante considerar algunos criterios y necesidades relacionados con servicios esenciales para los habitantes del edificio. Dentro de ellos está la operatividad de funcionamiento de los ascensores siempre que no haya interrupciones del suministro eléctrico, de igual forma debe garantizar el suministro de agua potable dentro del edificio siempre y cuando no sea una interrupción producida aguas arriba del domicilio.

La primera alternativa pone en riesgo la interrupción del suministro, por una causa producida dentro del mismo domicilio, ya que un uso muy frecuente de los ascensores, dentro de un periodo determinado de tiempo impediría el arranque de las bombas potenciando el riesgo de vaciamiento del sistema hidráulico.

El uso de agua dentro de cada vivienda es imposible predecirlo, por ende, el de todas las viviendas del edificio. Es por eso por lo que el sistema que plantea la segunda alternativa

tampoco es viable, ya que también existe un riesgo de vaciamiento del sistema hidráulico. Además, el sistema de control propuesto no es eficiente para controlar la corriente de arranque de cada bomba.

La tercera propuesta plantea modificar el sistema existente cambiando el sistema de control de partidas de las bombas y además propone cambiar la lógica de funcionamiento de los motores. Ninguna de estas modificaciones afectará negativamente la operatividad del sistema, por el contrario, es una solución directa a la problemática de alto consumo de corriente producido por las partidas de las bombas.

Para analizar cada alternativa de forma cuantitativa se consideran los siguientes criterios de evaluación:

- Factibilidad Económica: Costos de inversión, operación y mantenimiento e impacto en la demanda facturada.
- Cumplimiento de objetivos: Cumplimiento del objetivo del proyecto considerando la problemática que se busca resolver.
- Continuidad de Servicios: Capacidad de mantener la operación estable del suministro de agua potable, control del nivel de presión.
- Mantenimiento: Rapidez de detección de fallas y facilidad para generar diagnósticos, disponibilidad de repuestos, régimen de mantenimiento y tiempo de intervención a equipos.

Para ponderar los criterios se asignan puntuaciones de 1 a 3, considerando 1 como la alternativa menos favorable para cada criterio, 2 como alternativa aceptable para el criterio a evaluar y 3 como una alternativa conveniente en comparación a las demás.

A1: Impedir la simultaneidad entre el funcionamiento de las bombas y ascensores

A2: Programación de partidas con temporizadores

A3: Mejorar la secuencia de partidas y bajar la corriente de arranque de las bombas

Tabla 1-16. Evaluación de alternativas de solución

Criterio	A1	A2	A3
Factibilidad económica	2	3	2
Cumplimiento de objetivos	2	3	3
Continuidad del servicio	1	1	3
Mantenibilidad	2	2	3
TOTAL	7	9	11

Fuente: Elaboración propia, junio 2025

Considerando los criterios de evaluación y el puntaje total obtenido de cada una de las alternativas, se puede determinar que la mejor opción es la tercera alternativa.

1.6 OBJETIVOS

1.6.1 Objetivo general

Modernizar la automatización del control de partida de las motobombas para una disminución del consumo energético.

1.6.2 Objetivos específicos

- Describir la situación actual
- Realizar el proyecto de ingeniería para la modernización del control de partida de las motobombas.
- Realizar una evaluación económica del proyecto.

CAPÍTULO 2: DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN

2 INTRODUCCIÓN AL DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN

En el presente capítulo se describe de forma técnica la alternativa de solución seleccionada, incluyendo la filosofía, requerimientos y los equipos propuestos. Finalizando con propuestas de mejoras para la optimización del sistema hidráulico.

2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

La filosofía de la solución a implementar consta de un sistema de control que a través de la medición de presión de agua ordena el inicio o fin del funcionamiento de las bombas.

El sistema cuenta con protecciones eléctricas (figura 2-9, tabla 2-9.), variador de frecuencia (figura 2-11 y tabla 2-11.) para controlar la corriente de arranque del funcionamiento de las bombas, un sensor de presión (figura 2-10 y tabla 2-10.) para medir esta variable, un micro PLC (figura 2-13 y tabla 2-13.) para coordinar el ciclo de funcionamiento de acuerdo con el horario asignado para cada bomba y como actuadores se utilizan contactores (figura 2-15 y tabla 2-15.) ya instalados previamente.

Si la presión medida por el sensor es menor a 4,5 bar, el variador de frecuencia debe activar el funcionamiento de una de las bombas el cual es comunicado al micro PLC quien indica cual es la bomba que corresponde que funcione de acuerdo con el horario en el que se produce la demanda, si el motor alcanza una velocidad de 2900 rpm y el sistema tiene una presión inferior a 8 bar, el motor ya encendido se enclava y pasa a funcionar con alimentación eléctrica directa.

Al alcanzar 8 bar de presión el variador de frecuencia detiene la operación de la(s) motobomba(s) que se encuentren funcionando.

2.2 REQUERIMIENTOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN

De acuerdo con la problemática a resolver de este proyecto, el sistema debe cumplir requerimientos generales, como controlar el arranque y velocidad de las motobombas de acuerdo con la demanda de presión, también alternar el funcionamiento de las bombas para distribuir el desgaste de ellas. Por último, el sistema por sí solo debe alertar adecuadamente cualquier eventual falla eléctrica e hidráulica.

Para lograr una operatividad adecuada del sistema, corresponde seleccionar equipos y elementos diseñados para cumplir requerimientos de protecciones tanto para personas como de las máquinas que integran el sistema. De igual forma es necesario considerar el diseño de la red hidráulica para no afectar el suministro de agua que llega a las viviendas, bajar la presión de la red y evitar el vaciado de los acumuladores de agua.

2.2.1 Requerimientos eléctricos

En cuanto a los requerimientos eléctricos, se debe preservar la seguridad de las personas y equipos ante cualquier riesgo de electrocución y sobre corriente del sistema que alimenta los equipos de control, motobombas y acumuladores. Para ello se deben utilizar protecciones eléctricas adecuadas.

Para garantizar la operatividad de sistema, el mismo debe estar conectado a una red eléctrica con tensión trifásica de 380 V con un neutro y una frecuencia de 50 Hz.

El sistema debe retomar estado normal de funcionamiento de forma automática luego de una eventual interrupción del suministro eléctrico.

2.2.1.1. Protección eléctrica general

Para dimensionar la corriente (I) de la protección principal, se debe considerar un caso posible de un funcionamiento simultáneo de dos motobombas. Además, se deben considerar los requisitos de la red mencionados anteriormente, sumando la potencia de las dos motobombas de 10 HP (7457 W) por cada una de ellas, un factor de potencia de 0,85 una eficiencia estimada de 0,9 (90%) y una corriente de 5 [A] por consumo del sistema de control y por último un margen de seguridad de 25%.

$$10 \text{ H.P.} = 7457 \text{ W}$$

$$P = 2 \times 7457 \text{ W} = 14.914 \text{ W}$$

$$V_{3\phi} = 380 \text{ V}$$

$$FP (\cos\phi) = 0,85$$

$$\eta = 0,9$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times V_{3\phi} \times FP \times \eta} = \frac{14.914}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,85 \times 0,9} = 29,62 \text{ A}$$

$$I = (29.62 \times 1.25) + 5 = 35,87 \text{ A}$$

De acuerdo, con los cálculos expresados y las condiciones de funcionamiento con cargas inductivas se requiere una protección general de las siguientes características:

Tabla 2-1. Requerimientos Protección General

Característica Técnica	Valor sugerido
Tipo	Disyuntor termomagnético trifásico
Corriente nominal	50 A
Curva de disparo	Curva D
Tensión	380 A, 3P, AC
Capacidad de ruptura mínima	6 kA

Fuente: Cálculos realizados por el autor de este trabajo

2.2.1.2. Protecciones eléctricas de motobombas

Para cada motobomba se considera un guardamotor para proteger el motor ante sobrecargas y cortocircuitos.

Para dimensionar las protecciones de cada motobomba, consideraremos los siguientes datos técnicos para cada una de ellas:

Tabla 2-2. Requerimientos de protección para cada bomba

Características	
Potencia	7457 W
Tensión	380 V
Frecuencia	50 Hz
F P (cos Ø)	0,85
Eficiencia (η)	0,9

Fuente: Características técnicas de cada bomba.

Cálculo de corriente nominal de cada bomba:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times V_{3\phi} \times FP \times \eta} = \frac{7457}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,85 \times 0,9} = 14,81 [A]$$

2.2.1.3. Contactores

Como parte del control sobre cada motor, se debe utilizar un contactor para realizar el corte eléctrico, también como protección auxiliar y aislador del motor frente al resto del circuito para realizar mantenciones.

El contactor que se adecua a los requerimientos del sistema eléctrico, de control y las cargas debe cumplir con las características que muestra la tabla 2-3.

Tabla 2-3. Requerimientos para contactor

Característica Técnica	Valor sugerido
Potencia de cada motor	7457 W
Tensión	380 V
Corriente nominal	> 18 A
Tensión en la bobina	24 Vcc
N° de polos	3 (L1-L2-L3)
Tipo de carga	AC-3

Fuente: Características técnicas de cada bomba.

2.2.2 Requerimientos de control

En cuanto a los requerimientos generales del sistema de control, se considera relevante garantizar el funcionamiento automatizado de las motobombas, también se debe programar un ciclo de encendido alternado equitativamente por tiempo o por cantidad de partidas para reducir desgaste, evitando simultaneidades.

También el sistema de control debe permitir el encendido e interrupción manual del funcionamiento de las bombas en caso de emergencia.

El control debe estar integrado necesariamente por un variador de frecuencia compatible con la potencia, tensión y corrientes de cada motobomba (Tabla 2-4).

Tabla 2-4. Requerimientos para un variador de frecuencia

Requerimientos Eléctricos	Potencia del motor	7457 W
	Cantidad de bombas en operación	2
	Tensión de entrada	3 x 380 V AC
	Frecuencia de la red	50 Hz
	Tensión de salida	3 x 380 V AC
	Frecuencia de salida	0-50 Hz
	Corriente nominal	30 A
	Corriente de salida	30 A CC
Tipo de Controlador	Debe contar con PID integrado	
	Entradas analógicas	1
	Entradas digitales	6
	Salidas analógicas	1
	Salidas digitales	3
Comunicación	Rampas de aceleración y desaceleración configurables	
	Modbus RTU	
	Profibus	
	Ethernet/IP	
Protecciones	IP20	
	Protección contra sobretensión	
	Protección por cortocircuito salida	

Nota. Requerimientos definidos por el autor en función del diseño propuesto.
Fuente: Elaboración propia.

Al VDF (figura 2-11.) se le deben configurar entradas, salidas analógicas y digitales para medir presión, estado (on/off) de las bombas, comunicación de señales a contactores y alarmas de fallas.

El VDF debe controlar el funcionamiento utilizando el 50% de la potencia en cada partida.

El sistema debe detectar fallas de presión, en el variador de frecuencia o en alguna bomba; activando de forma automática una alarma de tipo luz de emergencia, la cual debe ser de accesible visualización para el operador.

Para visualizar y monitorear la presión actualizada de la red hidráulica, frecuencia de funcionamiento de cada bomba, estados de marcha/parada, alarmas y cantidad de tiempo de funcionamiento de cada bomba (útil para mantenimiento), se debe emplear una pantalla HMI (figura 2-14.) compatible con el protocolo del VDF.

En cuanto a los requerimientos de control, también se deben considerar las condiciones necesarias para la instalación física de los equipos. Para la instalación de las protecciones diferenciales, guardamotores, contactores, variador de frecuencia, pantalla HMI y canaletas de cableado; se debe utilizar un tablero metálico, modular, seguro, espacioso con al menos las siguientes dimensiones:

Tabla 2-5.Requerimiento de características físicas de tablero

Alto	1,4 m
Ancho	1,2 m
Profundidad	0,4 m

Nota. Requerimientos definidos por el autor en función del diseño propuesto.

Fuente: Elaboración propia.

2.2.3 Requerimientos hidráulicos

La red hidráulica debe ser segura y debe contar con monitoreo de presión actualizado y preciso.

Para cumplir con estos requerimientos se debe implementar un sistema de control que a través de un transmisor y dos pares de presóstatos transmita la presión real al VDF y accione ante un límite de baja presión y un límite de sobre presión de la red.

2.2.3.1. Monitoreo de presión

El transmisor de presión (señal analógica) (figura 2-10) debe comunicar la presión para que el VDF (figura 2-11.) regule la velocidad de las bombas de acuerdo con la demanda (de presión) que exista en la red. El transmisor debe contar con un rango de presión en el que el sistema debe funcionar, este es entre 0-10 bar, con salida analógica de 4-20 mA.

2.2.3.2. Baja presión

Como accionamiento ante una caída de presión bajo el rango normal de funcionamiento, se utilizarán dos presóstatos para activar una alarma o detener el sistema si es necesario. El presóstato debe tener un rango de presión ajustable de 0-6 bar, su tipo de contacto debe ser normalmente cerrado (NC). Debe contar con salida digital para comunicarse con el VDF.

2.2.3.3. Sobre presión

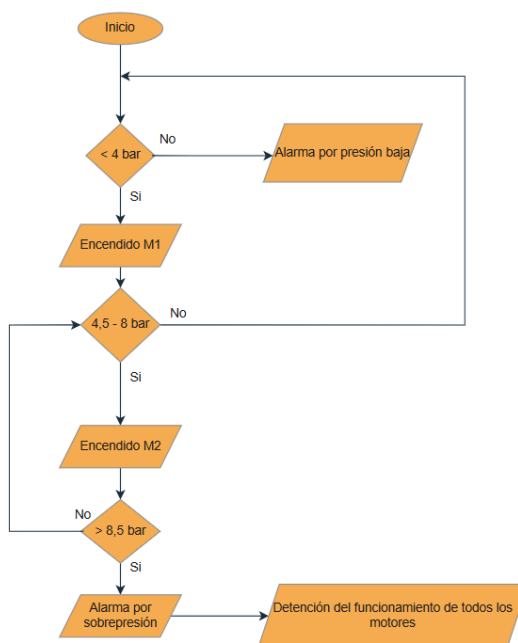
Para evitar que la red (tuberías y equipos) sufra daño por sobrepresión, se utilizan dos presóstatos que comunican al VDF la necesidad de parar el funcionamiento de las bombas. Para ello, cada presóstato, debe contar con una presión de accionamiento dentro del rango de 0-10 bar con contacto normalmente cerrado (NC).

Tabla 2-6. Lógica de monitoreo de presión

Presión detectada	Dispositivo de control	Acción del sistema
< 4 bar	Presóstato de baja presión - Transmisor de Presión	Alarma por presión baja y activación de la partida de la secuencia
4,5 - 8 bar	Transmisor de presión	Control de velocidad proporcional a la presión con VDF
> 8,5 bar	Presóstato de alta presión - Transmisor de Presión	Alarma por sobrepresión y detención automática del funcionamiento de las bombas

Nota. Requerimientos definidos por el autor en función del diseño propuesto.
Fuente: Elaboración propia.

La figura 2-1 permite visualizar como es el funcionamiento basado en la lógica de control de presión.



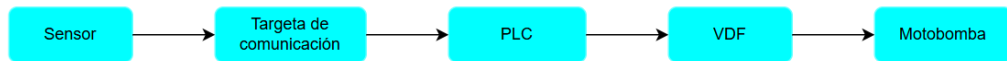
Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-1. Diagrama de flujo de lógica de control de presión.

2.3 METODOLOGÍA DE IMPLEMENTACIÓN

A través de un lazo de control se puede medir la corriente de arranque, tiempo de funcionamiento de cada bombas, potencia y energía consumida.

La figura 2-2 describe de forma secuencial la arquitectura de conexión de los equipos, máquinas e instrumentos incorporados al sistema de control.

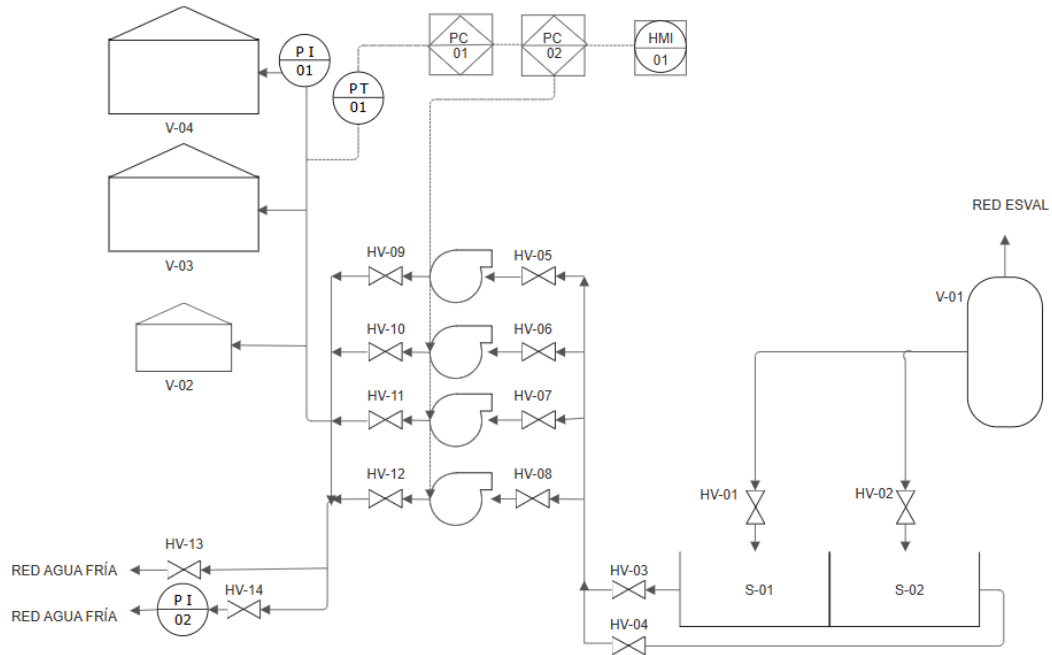


Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-2. Diagrama de bloques de equipos del sistema de control

Los instrumentos y dispositivos por utilizar están incorporados en el diagrama P&ID (figura 2-3).

- Sensor y transmisor de presión (PT 01)
- Controlador (Variador de frecuencia) (PC 01)
- Micro PLC (PC 02)
- Pantalla HMI (HMI 01)
- Contactores



Nota. Requerimientos definidos por el autor en función del diseño propuesto.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-3. Diagrama P&ID del sistema

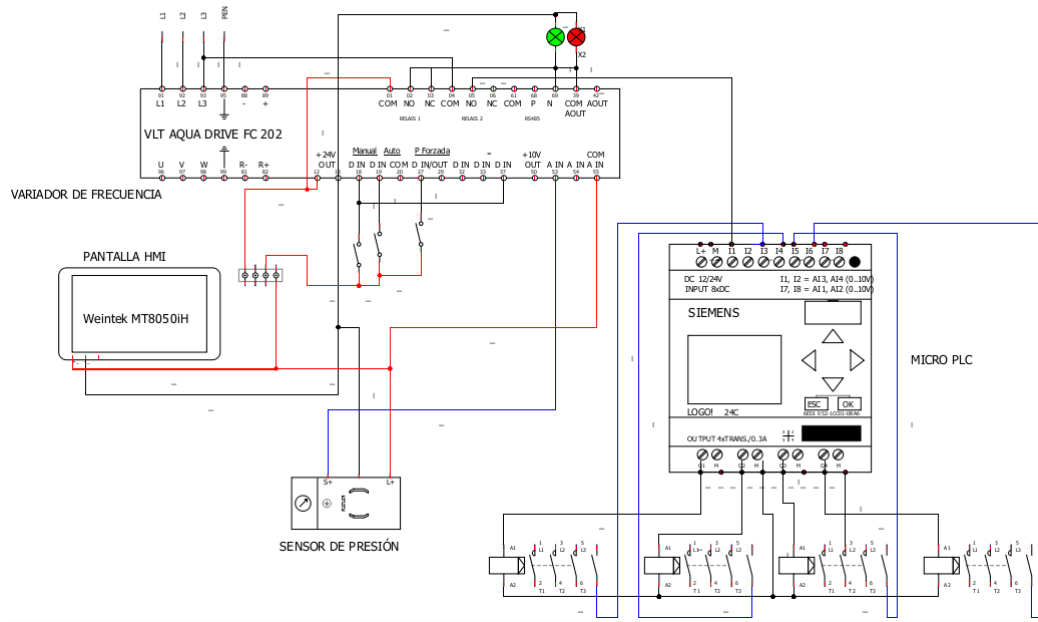
2.3.1 Diagrama de Control

La figura 2-3 describe el funcionamiento del sistema de control, los equipos e instrumentos utilizados son:

- Variador de frecuencia (Tabla 2-11 y Figura 2-11)
- Pantalla HMI (Tabla 2-14 y Figura 2-144)
- Micro PLC (Tabla 2-13 y Figura 2-13)
- Sensor de presión (Tabla 2-10 y Figura 2-10)
- Contactores (Tabla 2-15 y Figura 2-15)

El variador de frecuencia controla las partidas de los motores, el micro PLC controla el ciclo de partida y la pantalla HMI muestra mediciones instantáneas de parámetros eléctricos, también permite modificar parámetros de control.

El sensor de presión comunica este parámetro medido al controlador (VDF) para iniciar el funcionamiento de la motobomba correspondiente.



Nota. Requerimientos definidos por el autor en función del diseño propuesto.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-4. Diagrama de Control

En la Tabla 2-7 se indican los puertos de conexión del variador de frecuencia (Tabla 2-11 y Figura 2-11), los bornes 1 al 3 y 53 corresponden a las salidas, los bornes 12 y 13 a las fuentes de voltaje y los bornes 19, 19 y 27 corresponden a las entradas del equipo.

Tabla 2-7. Puertos de variador de frecuencia

Puertos VDF		
N° Borne	Entrada/Salida/Fuente	Función
1	COM (R1)	Con. común de luces pilotos
2	NO (R1)	Luz verde (Funcionamiento normal)
3	NC(R1)	Luz roja (Falla)
12	Fuente 24Vcc	Alimentación de cto de Control
13	COM 24Vcc	COM cto de Control
18	Entrada Digital	Modo Manual
19	Entrada Digital	Modo Automático
27	Entrada Digital	Detención Forzada
53	Entrada Análoga	Sensor de presión

Nota. Requerimientos definidos por el autor en función del diseño propuesto.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 2-8 se indican los puertos de conexión del micro PLC (Tabla 2-13 y Figura 2-13), todos los bornes corresponden a entradas, la entrada I1 recibe la señal de operación del VDF y la ausencia de inconveniente de ninguna de las motobombas (Figura 1-17 y Tabla 1-7), las entradas I3, I4, I5 e I6 reciben la señal de inicio o detención del funcionamiento de cada motobomba respectivamente.

Tabla 2-8. Disposición de bornes micro PLC

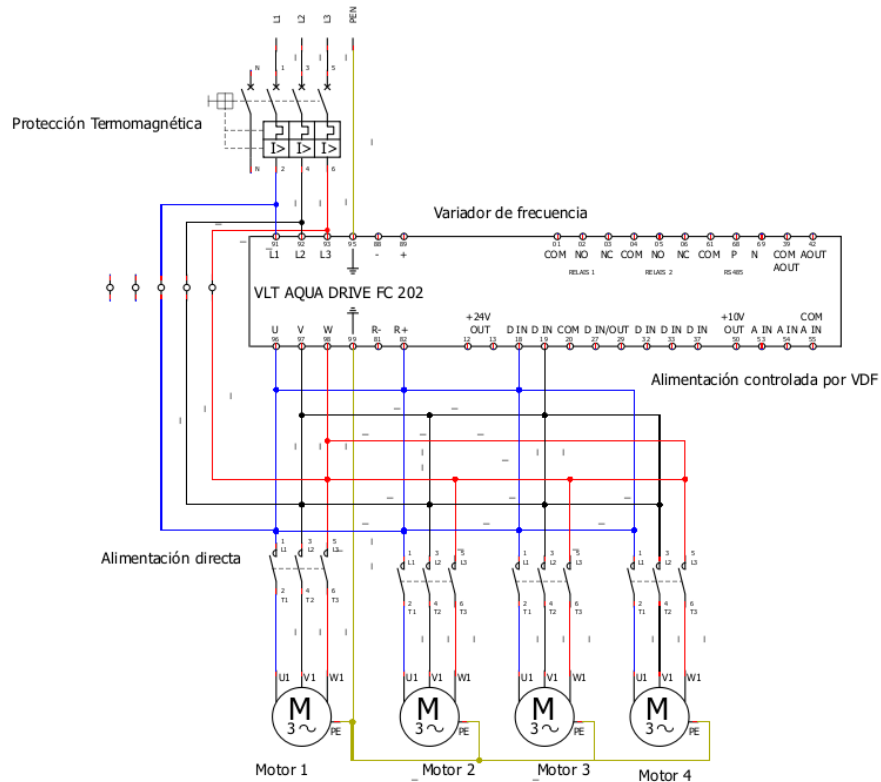
Entrada	Señal	Función
I1	Permiso de VDF y disponibilidad de bombas	Habilitación para iniciar el ciclo de funcionamiento
I3	Estado de bomba 1 (ON/OFF)	Recepción de estado de bomba 1 actualizado
I4	Estado de bomba 2 (ON/OFF)	Recepción de estado de bomba 2 actualizado
I5	Estado de bomba 3 (ON/OFF)	Recepción de estado de bomba 3 actualizado
I6	Estado de bomba 4 (ON/OFF)	Recepción de estado de bomba 4 actualizado

Nota. Requerimientos definidos por el autor en función del diseño propuesto.

Fuente: Elaboración propia.

2.3.2 Diagrama de Fuerza

La alimentación eléctrica del sistema se describe en la Figura 2-3, este indica que cada arranque de funcionamiento de las motobombas es controlado por el VDF, al alcanzar la velocidad nominal cada motobomba (Figura 1-17 y Tabla 1-7) será alimentada de forma directa.



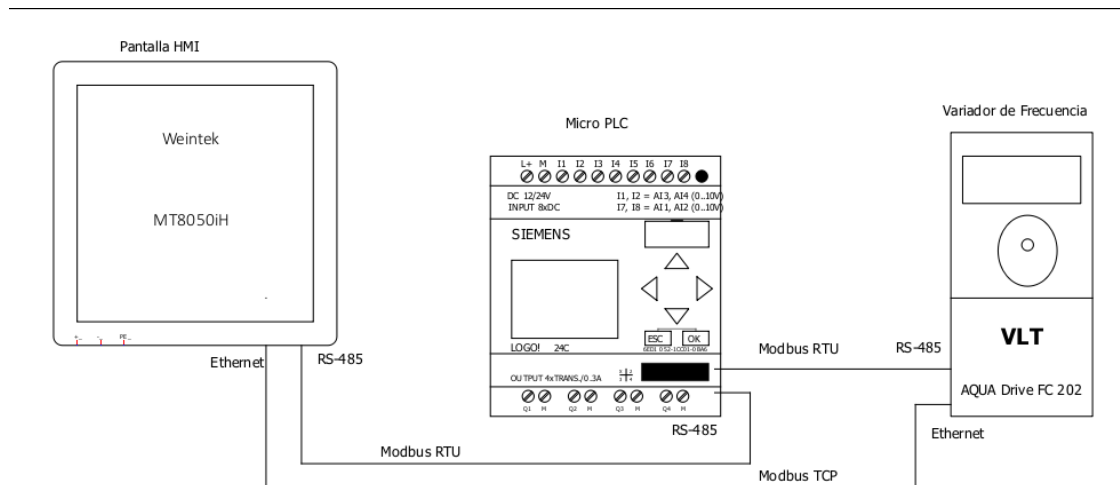
Nota. Requerimientos definidos por el autor en función del diseño propuesto.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-5. Diagrama de Fuerza.

2.3.3 Comunicación

Para coordinar el funcionamiento de cada uno de los dispositivos, es necesaria una comunicación entre ellos, por lo que para elegirlos se considerarán sus características y capacidades de comunicación. Para comunicar el variador de frecuencia (figura 2-11.), micro PLC (figura 2-13)- y pantalla HMI (figura 2-14.) de forma serial con protocolo modbus RTU desde puertos RS-485.

Para establecer una comunicación directa entre el variador de frecuencia se utiliza el protocolo modbus TCP, por medio de cables par trenzado blindado STP.



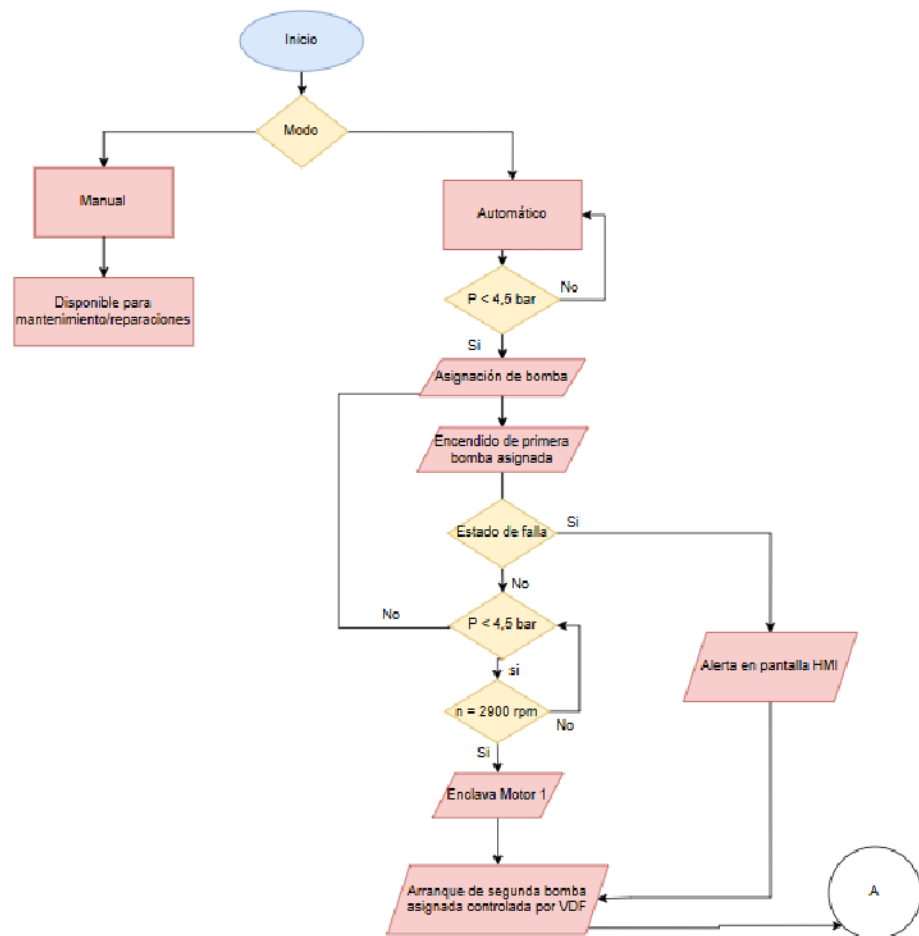
Nota. Requerimientos definidos por el autor en función del diseño propuesto.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-6. Diagrama de comunicación

2.3.4 Solución

Finalmente, la solución propuesta es un control por presión para dirigir los arranques de las bombas (figura 1-17.). También a través del controlador coordinar las partidas de los motores.

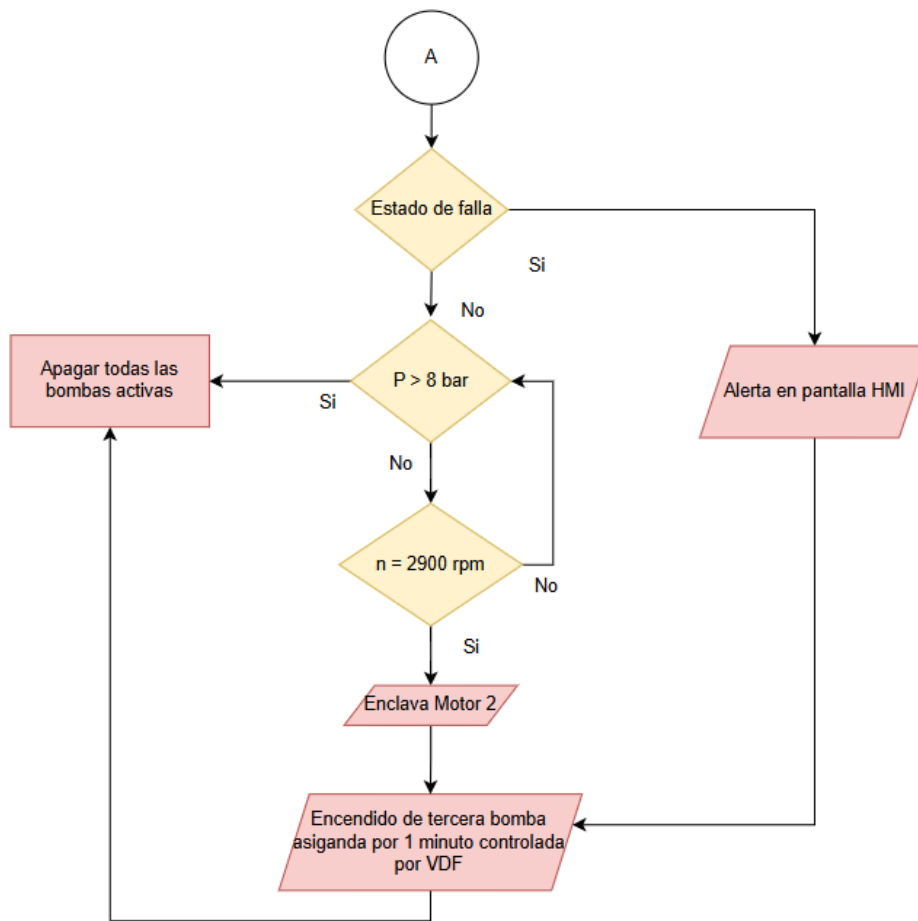
El micro PLC (figura 2-13.) asigna el turno correspondiente a cada bomba según el horario, si el sistema tiene una presión inferior a 4,5 bar se ordena la partida de la primera bomba asignada, si esta llega a su velocidad nominal de funcionamiento, se ordena la partida de la segunda bomba asignada para tal horario, si el sistema alcanza una presión de 8 bar, las bombas deben culminar su funcionamiento.



Nota. Requerimientos definidos por el autor en función del diseño propuesto.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-7. Primera parte de diagrama de flujo de solución propuesta



Nota. Requerimientos definidos por el autor en función del diseño propuesto.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-8. Segunda parte de diagrama de flujo de solución propuesta

2.4 EQUIPOS PROPUESTOS

De acuerdo con los requerimientos antes mencionados, se seleccionan los componentes utilizados en el sistema de control.

2.4.1 Protecciones eléctricas

De acuerdo con los requerimientos del sistema se selecciona un interruptor termomagnético con características que se muestran en la Tabla 2-9 y la Figura 2-9 muestra el interruptor.

Tabla 2-9. Características técnicas de interruptor termomagnético

Marca	Legrand
Capacidad de ruptura	6 kA
Tensión nominal	230/400 V ac
Nº polos	4
Corriente nominal	50 A
Curva de disparo	C

Fuente: Rhona (2025, noviembre). Interruptor Automatico 4x50A Curva C 6 ka <https://rhona.cl/producto/10831/interruptor-automatico-4x50a.html?srltid=AfmBOoqSRMqgdTznD11e4wfsEyksQRkoicyc8S8YSpOJaKG2DKp2UuM7Wsgw>



Fuente: Mercado Libre (2025, agosto 01). Interruptor Automatico 3p 50A Curva D 15 ka <https://www.mercadolibre.cl/interruptor-automatico-3p-50a-curva-d-15ka-ref-a9f85350-schn/up/MLCU3078283132>.

Figura 2-9. Interruptor termomagnético

2.4.2 Sensor de Presión

Para medir y transmitir la presión de agua hacia el controlador se selecciona un instrumento con las siguientes características:

Tabla 2-10. Características técnicas de sensor de presión

Marca	Danfoss
Modelo	MBS 3000
Rango de presión	1 - 600 bar
Señales de salida	4-20 mA, 0-5 V

Fuente: Danfoss.com (2025, agosto 01). Serie MBS 3000 de transmisores de presión compactos <https://www.danfoss.com/es-es/products/sen/sensors-and-transmitters/industrial-pressure-transmitters/mbs-3000-series/#tab-overview>



Fuente: Danfoss.com (2025, agosto 01). Serie MBS 3000 de transmisores de presión compactos <https://www.danfoss.com/es-es/products/sen/sensors-and-transmitters/industrial-pressure-transmitters/mbs-3000-series/#tab-overview>

Figura 2-10. Sensor de presión

2.4.3 Variador de frecuencia

Para controlar el sistema se propone un variador de frecuencia que cuenta con las siguientes características.

Tabla 2-11. Características técnicas Variador de Frecuencia

Marca	Danfoss
Modelo	VLT AQUA Drive FC 202
Tensión de Alimentación	3 x 380-480 V
Potencia	0,37 kW - 1 kW
Frecuencia	50 Hz
Frecuencia de salida (de acuerdo con la potencia)	0-590 Hz
Entradas digitales	6
Lógica	PNP/NPN
Nivel de voltaje	0-24 V DC
Voltaje máximo de entrada	28 V DC
Entradas Analógicas	2
Señales	Voltaje/Corriente
Rango de Voltaje	0 - +10 V
Rango de Corriente	0/4 a 20mA
Salidas digitales	2
Rango de voltaje (salida digital)	0-24 V DC
Corriente máxima (salida digital)	40 mA
Salida Análoga	1
Rango de Corriente (salida análoga)	0/4 - 20 mA
Interfaz USB	1.1 (Alta velocidad)
Puerto USB	Tipo B
IP	55
Comunicación	Modbus RTU (RS-485)

Fuente: Danfoss.com (2025, agosto 01). VLT AQUA DRIVE FC 202 <https://www.danfoss.com/es-es/products/dds/low-voltage-drives/vlt-drives/vlt-aqua-drive-fc-202/#tab-overview>

El variador de frecuencia cuenta con funcionalidades para transmitir datos a pantalla HMI y para recibir datos de medición desde el sensor de presión.



Fuente: Danfoss.com (2025, agosto 01). VLT AQUA DRIVE FC 202 <https://www.danfoss.com/es-es/products/dds/low-voltage-drives/vlt-drives/vlt-aqua-drive-fc-202/#tab-overview>

Figura 2-11. Variador de frecuencia

2.4.4 Tarjeta de Comunicación

El protocolo de comunicación del variador de frecuencia es Modbus RTU y el protocolo de comunicación del micro PLC es Modbus TCP, por lo que se necesita unificar ambos protocolos, para ellos se utiliza la siguiente tarjeta de comunicación (figura 2-12.).

Tabla 2-12. Características técnicas tarjeta de comunicación

Marca	AUCOM
Modelo	P/CSX/EMX3
Protocolos	Modbus RTU AP ASCII
Rango de dirección	0 a 31
Velocidad de transmisión de datos (bps)	4800 9600 19200 38400
Paridad	Sin paridad Paridad Impar Paridad Par 10 bit
Retardo	Sin retardo (apagado) 10s 60s 100s

Fuente: Catálogo Rhona (2025, agosto 01). TARJETA DE COMUNICACIÓN MODBUS TCP
https://rhona.cl/producto/11115/tarjeta-de-comunicacion-modbus-tcp.html?srltid=AfmBOopt1gMkUW-DUHmLBWfdV1y1_21fn-UJH649H26I2D5x17c_t2DN



Fuente: Catálogo Rhona (2025, agosto 01). TARJETA DE COMUNICACIÓN MODBUS TCP
https://rhona.cl/producto/11115/tarjeta-de-comunicacion-modbus-tcp.html?srltid=AfmBOopt1gMkUW-DUHmLBWfdV1y1_21fn-UJH649H26I2D5x17c_t2DN

Figura 2-12. Tarjeta de comunicación

2.4.5 MicroPLC

Para controlar la cantidad ciclos de funcionamiento por cada bomba, ya sea por horarios o por cantidad de partidas, se propone hacerlo a través de un micro-PLC con las siguientes características.

Tabla 2-13. Características técnicas Micro-PLC

Marca	Siemens
Modelo	LOGO! 8 230 RCE 8.4 CLOUD
Tensión de alimentación	12 V - 24 V DC / 230 V AC
Entradas digitales	8
Salidas digitales	4
Comunicación	Ethernet / Modbus TCP/IP
Programación	Temporizadores
	Contadores
	Relés de enclavamiento
	Comparadores analógicos

Fuente: Manual.plus (2025, agosto 01). Siemens Logo! 8 series basic modules <https://manuals.plus/siemens/logo-8-series-basic-modules-manual>



Fuente: Manual.plus (2025, agosto 01). Siemens Logo! 8 series basic modules <https://manuals.plus/siemens/logo-8-series-basic-modules-manual>

Figura 2-13. Micro PLC

2.4.6 Pantalla HMI

Para poder mostrar las mediciones y registros realizados se propone instalar una pantalla HMI con las siguientes características.

Tabla 2-14. Características técnicas de pantalla HMI

Marca	Weintek
Modelo	MT8050iH
Pantalla	4,3" TFT
Resolución	480x272
Brillo (cd/m ²)	500
Retroiluminación	LED
Ciclo de vida de retroiluminación	30,000 hr
Pantalla táctil	4-wire resistive
Material de carcasa	Plástico
Memoria de almacenamiento	128 MB
Memoria RAM	64 MB
Procesador	RISC 400MHz
Ethernet	10/100 Base-T
Comunicación	COM1 (RS 232/RS 485 2W/4W) COM3 (RS485 2W)
Alimentación	24 Vcc
Consumo	250 mA
Protección	IP65

Fuente: Manual 2012Brochure_ENG



Fuente: Manual 2012Brochure_ENG

Figura 2-14. Pantalla HMI

2.4.7 Contactores

Para energizar las bombas se propone utilizar los contactores usados en el sistema actual, a modo de actuadores. Estos contactores cuentan con las siguientes características.

Tabla 2-15. Características técnicas de contactores

Marca	Mitsubishi Electric
Tipo	Contactador Magnético
Modelo	SN12
Corriente nominal	20 A
Voltaje de aislamiento	690 A AC
Frecuencia	50 Hz
Potencia AC-3	240 V AC - 3,5 kW / 440 / 500 / 690 V AC: 5,5 kW
Cortocircuito de Servicio	600 V AC
Contacto	3 polos 1 NA + 1 NC
Protección	IP20

Fuente: Mitsubishi.com (2025, agosto 01). S-N12 AC24V <https://shop1.us.mitsubishielectric.com/es/products/S-N12CX%20AC24V>



Fuente: Mitsubishi.com (2025, agosto 01). S-N12 AC24V <https://shop1.us.mitsubishielectric.com/es/products/S-N12CX%20AC24V>

Figura 2-15. Contactor

2.5 PROPUESTAS ADICIONALES DE MEJORA

Como valor agregado se presentan propuestas para mejorar aún más el sistema, para llevarlas a cabo se necesitará de la instalación de otros equipos, pero tienen compatibilidad

de funcionamiento con los indicados en este proyecto, específicamente con el variador de frecuencia.

Las propuestas son las siguientes:

- Memoria de registro de fallas y cantidad de partidas de cada bomba.
- Registro de gasto de energía producido por el conjunto de bombas.
- Instalación de dos flujómetros, uno aguas arriba de la sala de bombas y otras aguas abajo a la sala de bombas para detectar eventuales filtraciones de agua.

CAPÍTULO 3: EVALUACIÓN ECONÓMICA

3. EVALUACIÓN ECONÓMICA

En el presente capítulo se detallan los costos monetarios que implicaría desarrollar este proyecto y el beneficio económico que generaría a la comunidad de propietarios del edificio.

3.1 COSTOS

A continuación, se describen los costos asociados a materiales, equipos, implementación, desarrollo y capacitación. Para justificar los últimos tres ítems mencionados se presenta una planificación de trabajo de tipo “Carta Gantt” (figura 3-1.), en donde se detallan las tareas a desarrollar y durabilidad de esta (en días).

Además, se considera un costo por imprevistos y el cobro por concepto de impuesto.

3.1.1 Costos de materiales

Tabla 3-1. Costos de materiales

Material	Precio sin IVA	Precio con IVA	Valor IVA	Proveedor
Interruptor Termomagnético	\$ 33.989	\$ 41.962	\$ 7.973	EECOL Electric
Sensor de Presión	\$ 161.641	\$ 192.353	\$ 30.712	Indutécnica Soluciones Industriales
Variador de Frecuencia	\$ 881.384	\$ 1.088.128	\$206.744	Wi Automation
Tarjeta de comunicación	\$ 197.483	\$ 243.806	\$ 46.323	Rhona
Micro PLC	\$ 89.806	\$ 110.871	\$ 21.065	Wi Automation
Pantalla HMI	\$ 387.519	\$ 478.419	\$ 90.900	Veto Precision a su medida
Conductores de control	\$ 32.892	\$ 40.608	\$ 7.716	Rhona
Conductores de potencia	\$ 8.829	\$ 10.900	\$ 2.071	Vitel Energía
Canaleta ranurada	\$ 6.793	\$ 8.386	\$ 1.593	Rhona
Terminales	\$ 1.397	\$ 1.725	\$ 328	Lexo
Guantes	\$ 59.114	\$ 72.980	\$ 13.866	RAC Seguridad Industrial
Cinta aislante	\$ 288	\$ 356	\$ 68	Sonepar
Cable par trenzado (STP)	\$ 30.726	\$ 36.564	\$ 5.838	RS delivers
Total	\$ 1.891.861	\$ 2.327.058	\$435.197	

Fuente: Elaboración propia.

3.1.2 Costos por implementación y capacitación

Para la clarificación de los costos por implementación, desarrollo y capacitación; se elaboró una carta Gantt en donde estos ítems se encuentran distribuidos en distintas tareas, siguiendo una temporalidad en donde un período de la carta es un día. El eje vertical corresponde a las tareas a desarrollar. Sólo se consideran días hábiles para realizar las tareas.

En primera instancia los costos se cuantificaron en unidades de fomento (UF), correspondiente a la fecha 02/09/2025, donde su valor a esa fecha es \$39.406 (CLP).

En cuanto a los servicios de implementación del proyecto y desarrollo se determinaron distintas tareas distribuidas entre un ingeniero en y un técnico en control. El costo de la hora-hombre (HH) del ingeniero es de 0,75 UF y el del técnico de 0,55 UF.

Las tareas, costos y distribución de estas se detallan en la tabla 3-3. Las tareas se encuentran descritas en las celdas de color naranja y las subtareas en color gris, por ende,

los valores en UF/\$ de las celdas color naranja son el total de las subtareas incluidas en ese ítem.

Tabla 3-2. Coste de Implementación

	Tareas	Profesional (HH)		UF	Costo con IVA (CLP)	IVA	Costo sin IVA (CLP)
		Ingeniero	Técnico				
1	Revisión y levantamiento inicial	9	0	8,25	\$325.098	\$ 61.769	\$263.330
	Visita a terreno	3	0	2,25	\$88.663	\$ 16.846	\$71.817
	Diagnóstico del sistema	3	0	2,25	\$88.663	\$ 16.846	\$71.817
	Recolección de datos y requerimientos del cliente	5	0	3,75	\$147.772	\$ 28.077	\$119.695
2	Ingeniería y diseño	13,5	0	11,25	\$443.316	\$ 84.230	\$359.086
	Definición de arquitectura (equipos a utilizar)	4,5	0	3,375	\$132.995	\$ 25.269	\$107.726
	Diagramas eléctricos, de control y comunicación	4,5	0	3,375	\$132.995	\$ 25.269	\$107.726
	Documentación técnica (memoria de cálculos, lista de señales)	6	0	4,5	\$177.326	\$ 33.692	\$143.634
3	Programación y configuración	4,5	9	8,325	\$328.054	\$ 62.330	\$265.723
	Desarrollo de lógica de control	4,5	0	3,375	\$132.995	\$ 25.269	\$107.726
	Configuración de VDF, HMI y protocolos de comunicación	0	9	4,95	\$195.059	\$ 37.061	\$157.998
4	Instalación/desinstalación de equipos	0	31,5	14,85	\$585.177	\$111.184	\$473.993
	Montajes de equipos y componentes del sistema	0	18	9,9	\$390.118	\$ 74.122	\$315.996
	Cableado y conexionado	0	9	4,95	\$195.059	\$ 37.061	\$157.998
	Desinstalación y reubicación de componentes	0	4,5	2,475	\$97.529	\$ 18.531	\$78.999
5	Optimización y puesta en marcha	4,5	4,5	5,85	\$230.524	\$ 43.800	\$186.725
	Ajustes de parámetros	2,25	2,25	2,925	\$115.262	\$ 21.900	\$93.362
	Corrección de fallas	2,25	2,25	2,925	\$115.262	\$ 21.900	\$93.362
6	Documentación final y capacitación	18	0	13,5	\$531.979	\$101.076	\$430.903
	Manuales de operación	9	0	6,75	\$265.989	\$ 50.538	\$215.451
	Capacitación a operarios	4,5	0	3,375	\$132.995	\$ 25.269	\$107.726
	Entrega formal del proyecto	4,5	0	3,375	\$132.995	\$ 25.269	\$107.726
Total		62,025		62,025	\$2.444.148	\$464.388	\$ 1.979.760

Fuente: Elaboración propia.

ACTIVIDAD	INICIO DEL PLAN (días)	DURACIÓN DEL PLAN (días)	INICIO REAL (días)	DURACIÓN REAL (días)	PERIODOS									
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Revisión y levantamiento inicial	1	1	1	1										
Ingeniería y diseño	2	2	2	2										
Instalación de variador de frecuencia	4	0,5	4	0,5										
Instalación de sensor de presión	4,5	0,5	4	0,5										
Instalación de micro PLC/Pantalla HMI	5	1	5	1										
Cableado y conexionado	6	1	6	1										
Programación/configuración VDF, PLC y HMI	7	2	7	2										
Desinstalación de contactores y protecciones	9	0,25	9	0,25										
Instalación de protección nueva/Reubicación de contactores	9,25	0,25	9	0,25										
Prueba de funcionamiento	9,5	0,25	9	0,25										
Puesta en marcha	9,75	0,25	9	0,25										
Capacitación a operarios	10	0,5	10	0,5										
Entrega (documentación y traspaso)	10	0,5	10	0,5										

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-1. Carta Gantt

3.1.3 Subtotal

A continuación (tabla 3-3.), se detallan los costos totales por concepto de materiales, implementación y capacitación; considerando el IVA (Impuesto sobre el valor añadido) correspondiente.

Tabla 3-3. Subtotal

Totales con IVA	Costo
Total materiales	\$ 2.327.058
Total mano de obra e implementación	\$ 2.444.148
Sub Total	\$ 4.771.206

Fuente: Elaboración propia.

3.1.4 Costo por imprevistos

Para posibles gastos imprevistos generados dentro del proyecto, ya sea por incremento sorpresivo del costo de algún material o valor de la UF, urgencias, etc. Se considera el 10% del monto correspondiente al Subtotal para dichos gastos.

Tabla 3-4. Costo por imprevistos

Costo por imprevistos	$4.771.206 * 0.1$
	\$ 477.121

Fuente: Elaboración propia.

3.1.5 Costo por desarrollo

El costo por desarrollo del proyecto equivale al 15% del subtotal (\$4.771.206), este monto cubre los trabajos de planificación, creación de presupuesto, monitoreo y control del proyecto.

$$\text{Costo por desarrollo} = \$715.681$$

3.1.6 Costos totales

Al sumar los costos correspondientes (considerando IVA) al subtotal, imprevistos y por desarrollo; se obtiene el costo total del proyecto.

Tabla 3-5. Costos totales

Sub Total	\$ 4.771.206
Costo por imprevistos	\$ 477.121
Costo por desarrollo	\$ 715.681
Total	\$ 5.964.007

Fuente: Elaboración propia.

3.2 BENEFICIOS MONETARIOS

En cuanto al beneficio económico que percibirá la comunidad posterior a la finalización del proyecto, se debe dividir en dos tipos de beneficios, el primero es el beneficio económico por disminución de consumo de energía y el segundo es el beneficio económico por disminución de consumo de potencia, la sumatoria de ambos beneficios es el ahorro total generado por este proyecto.

3.2.1 Ahorro en consumo de energía

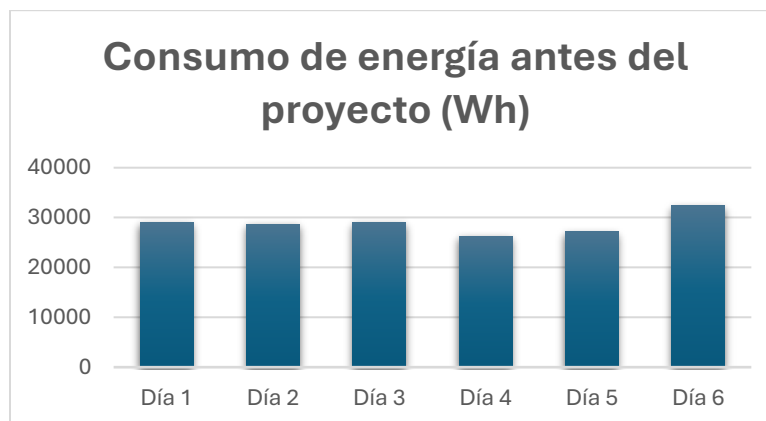
Para calcular el ahorro de energía se debe considerar el consumo actual y el consumo de energía generado por las bombas posteriormente al proyecto. Uno de los objetivos de este proyecto es disminuir la corriente de arranque de las bombas, lo que se traduce en la eliminación de la potencia de arranque a través de partidas controladas por un VDF.

Para estimar el consumo actual, se toma el promedio diario entre 6 días medidos. Desde el día 1 de julio hasta el día 6 de julio del año 2025. El consumo diario medido es el siguiente:

Tabla 3-6. Consumo de energía diario

Fecha	Día	Consumo de energía (kWh)
martes, 1 de julio de 2025	Día 1	29
miércoles, 2 de julio de 2025	Día 2	28,7
jueves, 3 de julio de 2025	Día 3	29
viernes, 4 de julio de 2025	Día 4	26,22
sábado, 5 de julio de 2025	Día 5	27,1
domingo, 6 de julio de 2025	Día 6	32,38

Fuente: Elaboración propia. Datos medidos en terreno.



Fuente: Elaboración propia. Datos medidos en terreno.

Figura 3-2. Representación gráfica de la energía consumida por motobombas

El promedio diario resultante de la medición es de 28,75 kWh, dando un estimado anual de 10.349,9 kWh de consumo de energía generado por las bombas.

También se debe considerar el pico de potencia producido durante el arranque del funcionamiento de la bomba, se estima que este dura 2 segundos, alcanzando una corriente de 100 A y 229 arranques diarios.

Para calcular la energía de arranque, se debe calcular primeramente la potencia de arranque para ello se considera un factor de potencia (fp) de 0,85 y la tensión de 380 V.

$$P_{arranque} = \sqrt{3} \times V_L \times I_{arranque} \times fp$$

$$P_{arranque} = \sqrt{3} \times 380 \times 100 \times 0,85$$

$$P_{arranque} = 55,95 \text{ kW}$$

Cálculo de energía de arranque medido en Wh:

$$E_{arranque} = P_{arranque} \times \frac{tiempo_{arranque}}{3600} [kWh]$$

$$E_{arranque} = 55,95 \times \frac{2}{3600} = 0,03 [kWh]$$

Cálculo de energía de arranque diario (se considera 229 arranques diarios):

$$E_{ad} = 0,03 \times 229 = 7,11 \text{ kWh}$$

Cálculo de energía de arranque mensual:

$$E_{am} = 7,11 \times 30 = 213,52 \text{ kWh}$$

Cálculo de energía de arranque anual:

$$E_{an} = 213,52 \times 12 = 2.562,29 \text{ kWh}$$

Para calcular el costo anual de la energía de arranque se considera el valor de \$157,30 (CLP) por kWh.

$$\text{Costo por energía de arranque anual} = 2.562,29 \times 157,3 = \$403.048,5$$

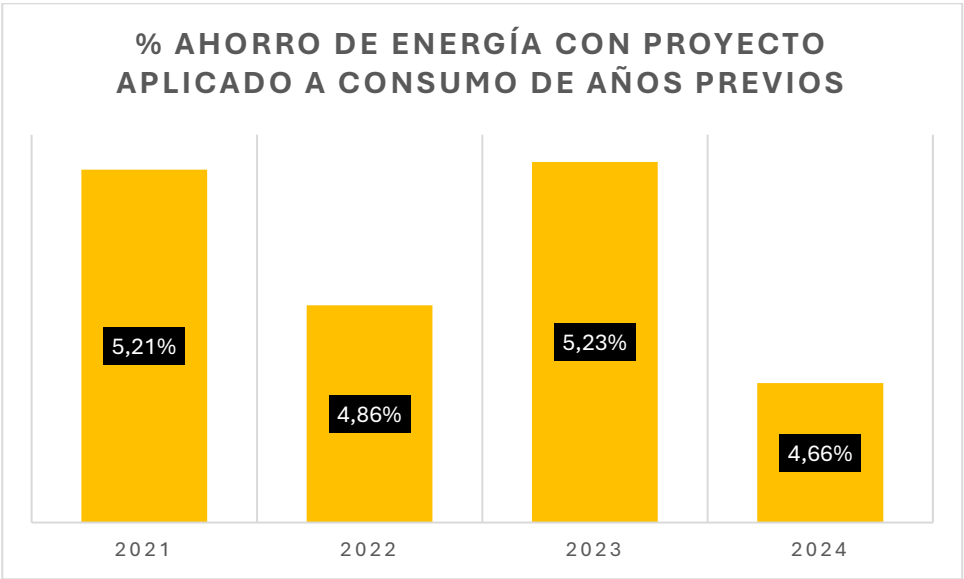
El ahorro total de la energía equivale a la energía consumida por cada arranque por ende es de 2.562,29 kWh.

Para graficar el impacto del ahorro a generar, se consideran los consumos totales por año entre 2020 y 2024.

Tabla 3-7. Comparación de consumo respecto a años anteriores a este trabajo

Año	2020	2021	2022	2023	2024
Consumo anual de energía (kWh)	48.000	49.200	52.740	49.020	55.020
Ahorro por proyecto al eliminar la energía de arranque (kWh)	2.562,29	2.562,29	2.562,29	2.562,29	2.562,29
% de ahorro años anteriores sin energía de arranque	5,34%	5,21%	4,86%	5,23%	4,66%
% Consumo de energía anterior con la implementación del proyecto	94,66%	94,79%	95,14%	94,77%	95,34%
Consumo en años anteriores con implementación del proyecto (kWh)	45.437,71	46.637,71	50.177,71	46.457,71	52.457,71

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-3. Impacto del consumo de energía con datos de años anteriores al proyecto

3.2.2 Ahorro de potencia

Para calcular el ahorro de potencia se debe considerar la potencia consumida por las bombas previo al proyecto, además se debe entender cuanto representa frente a la potencia total medida del edificio, por lo que se consideran las potencias por consumo de luminarias, ascensores y bombas de agua. La demanda leída del edificio se estima de acuerdo con el promedio mensual del año 2024 esta equivale a 12,38 kW (Tabla 1-5).

En primer lugar, se calcula el consumo de energía total por iluminación:

Tabla 3-8. Consumo de potencia por iluminación.

Lámparas	Cantidad	Potencia por cada lámpara (W)	Potencia total por cada zona (W)
Luminarias en pasillos	96	24	2304
Luces hall	12	24	288
Focos externos	5	100	500
Luminarias estacionamiento	13	20	260

Fuente: Elaboración propia. Datos medidos en terreno.

Potencia total mensual por iluminación (W)
3.352

Se estima que la potencia consumida por el funcionamiento de ascensores equivale al 15% de la total leída al mes.

$$P_{\text{ascensores}} = 12,38 \times 0.15 = 1,857 \text{ kW}$$

La potencia resultante entre la suma del consumo por iluminación y el uso de ascensores es de 5,21 kW.

$$P_{l-a} = 3,352 + 1,857 = 5,21 \text{ kW}$$

Para determinar la potencia por el consumo de las bombas de agua, se calcula la diferencia entre la potencia leída y la potencia resultante por el uso de lámparas y ascensores.

$$P_b = 12,38 - 5,21 = 7,17 \text{ kW}$$

Para controlar la potencia consumida para cada arranque, se ajustará el VDF al 50% de la consumida antes del proyecto.

$$P_{bn} = 7,171 \times 0,5 = 3,5885 \text{ kW}$$

La potencia consumida por las bombas posterior al proyecto es de 3,5885 kW/mes.

Para determinar el costo por potencia posterior al proyecto, se suman las potencias por uso de luminarias, ascensores y el nuevo consumo de potencia de las bombas. Además, se considera el valor de \$ 16.600 (CLP) por kW consumido.

$$P_{tn} = 5,21 + 3,5885 = 8,79 \text{ kW}$$

Costo por potencia mensual posterior al proyecto:

$$C_{ptm} = 8,79 \times 16.600 = \$145.989$$

Costo por potencia anual posterior al proyecto:

$$C_{pta} = 145.989 \times 12 = \$1.751.864$$

Para determinar el ahorro generado en potencia y por el costo de esta se calcula la diferencia entre el consumo mensual previo al proyecto y el consumo mensual estimado posterior al proyecto.

$$D_{p-m} = 12,38 - 8,79 = 3,58 \text{ kW/mes}$$

Considerando el costo por potencia utilizado anteriormente se puede determinar el ahorro mensual.

$$A_m = 3,58 \times 16.600 = \$59.519,3$$

Ahorro anual por potencia:

$$A_{año} = 3,58 \times 12 \times 16.600 = \$714.232$$

3.2.3 Ahorro total por proyecto

Para determinar el ahorro monetario total, se deben sumar el ahorro producido por potencia anual y el ahorro producido por energía anual correspondiente a la totalidad de la energía de arranque.

$$Ahorro\ total\ anual = \$403.049 + \$714.232 = \$1.117.280$$

3.3 TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

Para poder estimar la tasa de rendimiento anual promedio esperada en la vida útil de este proyecto, se calcula la tasa interna de retorno representada en porcentaje.

El proyecto se considera financieramente estable cuando su TIR es mayor que la tasa mínima aceptable de retorno.

En primer lugar, se calcula el valor actual neto (VAN) el cual mide el valor presente de los flujos de caja futuros que generará el proyecto, descontando una tasa que refleja el costo del dinero en el tiempo (tasa de descuento), para este trabajo esta tasa es del 8%.

Para este proyecto se considera una inversión inicial (I_0) de \$5.964.007 y un costo de operación anual para mantenimiento equivalente a \$216.000, también se estima un beneficio anual de \$1.117.281. El flujo neto anual representa la diferencia entre el beneficio anual y el costo de operación anual. Para este proyecto se espera una vida útil de 10 años.

$$F_t = \$1.117.280 - \$240.000 = \$877.280$$

Para calcular el valor actual neto, se utilizó la siguiente fórmula y datos:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+i)^t}$$

Tabla 3-9. Valores para cálculo de VAN

I_0	Inversión Inicial del proyecto	\$5.964.007
F_t	Flujo neto de cada en el año t	\$901.280
i	Tasa de descuento	8%
n	Años de vida útil del proyecto	10

Fuente: Elaboración propia.

$$VAN = -5.964.007 + 901.280 * \frac{1 - (1.08)^{-10}}{0,08}$$

$$VAN = \$83.655$$

Como resultado tenemos un VAN de \$638.294. Según los criterios de decisión, si el VAN es menor a 0 el proyecto no es rentable, si es igual a 0 el proyecto recupera lo mismo que lo invertido y si el VAN es superior a 0 el proyecto es rentable.

Como se puede observar un VAN equivalente a \$638.294 corresponde a un valor superior a 0, por lo que es un proyecto rentable.

La TIR corresponde a la tasa de descuento r que hace que el valor actual neto (VAN) del proyecto sea cero.

$$0 = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+r)^t}$$

Tabla 3-10. Valores para cálculo de TIR

I_0	Inversión Inicial del proyecto
F_t	Flujo neto de cada en el año t
n	Número de periodos (años) de evaluación
r	Tasa interna de retorno (TIR)

Fuente: Elaboración propia.

Para obtener la TIR se estiman distintas tasas, buscando alcanzar un VAN superior a 0, en donde la tasa correspondiente al 14,38%

$$TIR = 8,31\%$$

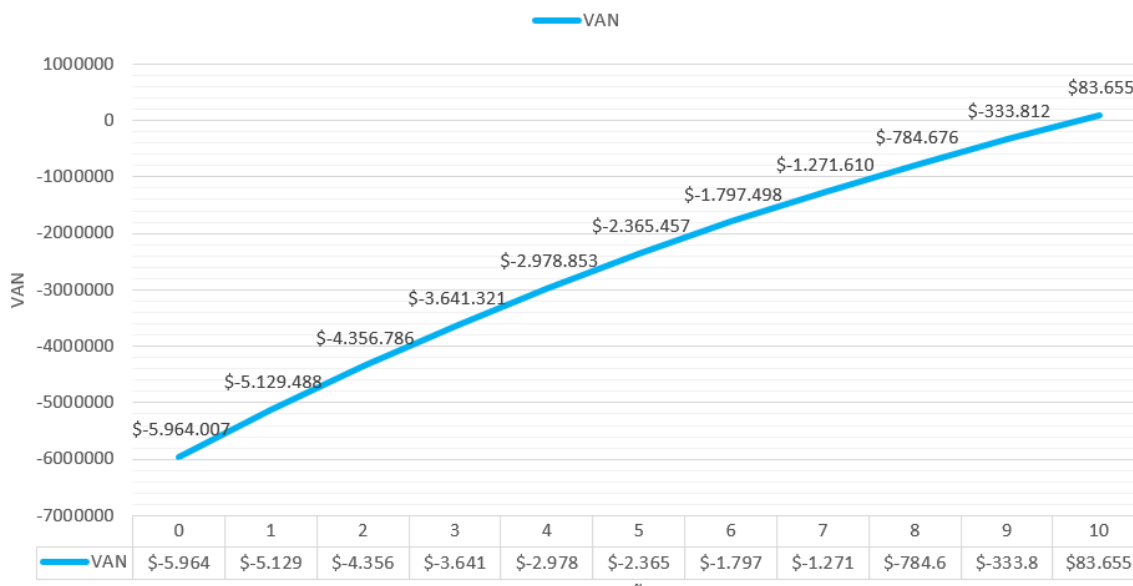
Por lo tanto, si la tasa de descuento o costo de oportunidad es menor a 10,63%, el proyecto es atractivo. Si esta tasa es superior a 10,63% no se consideraría un proyecto financieramente atractivo.

A continuación (tabla 3-9 y figura 3-6) se muestra la evolución del VAN a través de los diez primeros años posterior a la ejecución del proyecto, demostrando que a partir del séptimo año la inversión inicial se transforma en ahorro para la comunidad.

Tabla 3-11. Diagrama de flujo de VAN

Año	Factor de descuento (8%)	Flujo descontado	VAN acumulado	Flujo de Caja
0	1	\$ -5.964.007	\$ -5.964.007	\$ -5.964.007
1	0,92593	\$ 834.519	\$ -5.129.488	\$ 901.280
2	0,85734	\$ 772.702	\$ -4.356.786	\$ 901.280
3	0,79383	\$ 715.465	\$ -3.641.321	\$ 901.280
4	0,73503	\$ 662.468	\$ -2.978.853	\$ 901.280
5	0,68058	\$ 613.396	\$ -2.365.457	\$ 901.280
6	0,63017	\$ 567.959	\$ -1.797.498	\$ 901.280
7	0,58349	\$ 525.888	\$ -1.271.610	\$ 901.280
8	0,54027	\$ 486.934	\$ -784.676	\$ 901.280
9	0,50025	\$ 450.864	\$ -333.812	\$ 901.280
10	0,46319	\$ 417.467	\$ 83.655	\$ 901.280

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-4. Gráfico de flujo de caja

3.4 SENSIBILIDAD DEL PROYECTO

El proyecto permite modificaciones de parámetros en el variador de frecuencia (Tabla 2-11 y Figura 2-11), para disminuir o aumentar la potencia requerida para poner en marcha las motobombas, el primer caso representa un 25% de ahorro, el caso 2 un 50% (configurado al finalizar este proyecto), el caso 3 un 60% de ahorro y el caso 4 un 75% de ahorro respecto a la potencia nominal.

Tabla 3-12. Sensibilidad de proyecto

	Caso 1 (25%)	Caso 2 (50%)	Caso 3 (60%)	Caso 4 (75%)
Potencia anual requerida (kW)	127,047	105,534	96,9588	84,021
Costo anual por potencia	\$ 2.108.980	\$1.751.864	\$1.609.018	1.394.749
Costo económico en energía	\$403.049	\$403.049	\$403.049	\$403.049
Costo total anual (energía+potencia)	\$ 2.512.029	\$2.154.913	\$2.012.067	\$1.797.798
VAN	\$-2.312.287	\$ 83.655	\$1.041.815	\$2.482.274
TIR	4,65%	8,31%	11,58%	16,64%

Fuente: Elaboración propia.

En el caso 1, el proyecto no sería rentable, ya que la tasa interna de retorno (TIR) es menor a la tasa de descuento (8%), tampoco se recuperaría la inversión dentro de los 10 años posteriores a la puesta en marcha del proyecto.

CONCLUSIONES

Se encuentra una problemática y se investiga el sistema y equipos para evaluar distintas alternativas de solución. También se averigua sobre los costos monetarios que conlleva la misma problemática.

Se logra diseñar un sistema de control automático que optimiza el ciclo de funcionamiento y controla la corriente de arranque de las bombas.

El sistema diseñado permite ser controlado de forma automática bajo la variable de presión, asegurando la disponibilidad del suministro de agua potable para cada uno de los departamentos del edificio.

Se determinan los equipos y componentes a utilizar, ajustados a los requerimientos necesarios del sistema.

Se logra justificar la solución desde el aspecto económico, demostrando que la implementación del proyecto traería beneficios monetarios para la comunidad.

Se propone implementar el monitoreo remoto y redes de comunicación que permitan almacenar en la nube los datos guardados en el variador de frecuencia.

BIBLIOGRAFÍA

1. CGE- Tarifa de suministro:

CGE. (s.f.). *Tarifa de suministro eléctrico*. Compañía General de Electricidad.

Recuperado el 4 de junio de 2025, de <https://www.cge.cl/informacion-comercial/tarifas-y-procesos-tarifarios/>

2. F. Yurjevic, comunicación personal, 6 de enero de 2025.
3. Unical AG S.PA. (2005). Installation, use and servicing instruction [Manual de usuario].
4. ABB Group Processes Ltd. (2019). *Comparativa de rendimiento entre arrancadores suaves controlados por 2 y 3 fases* (N.º de documento 1SFC132392M0201, Rev. 2).
5. Danfoss. (2021). *VLT® AQUA Drive FC 202 series for a masterclass performance*. Recuperado de <https://drives.danfoss.com>
6. AEMC Instruments. Analizador de red electrical 3945-B Manual de instrucciones.

Anexo A

Gasto monetario por consumo de energía

Para una mejor comprensión del problema se detalla a continuación la tarifa por la que se rige el cobro a la empresa distribuidora y el consumo de energía del edificio cuantificado.

Tarifa de cobro de energía

El cobro de energía eléctrica por parte de la empresa de distribución de energía Chilquinta S.A. se rige por la tarifa BT3 PPP, la cual aplica para edificios residenciales conectados a una red de baja tensión, la particularidad de esta tarifa es que se considera un precio por potencia y precio por energía con punta parcial y plana. Lo cual implica la división del consumo de energía por periodos de tiempo llamados considerados como horarios.

El primer periodo horario considerado es el llamado “Hora punta” que son las horas de mayor consumo de energía a nivel nacional, durante el invierno este inicia a las 18:00 horas y termina a las 22:00 horas. El segundo periodo es el “Horario fuera de punta”, este considera el resto del tiempo no considerado como horario punta.

Los cargos que se consideran dentro de la tarifa son los siguientes:

- Cargo fijo mensual
- Cargo por uso del sistema de transmisión
- Cargo por servicio público (contempla el costo de financiamiento del Coordinador eléctrico nacional, panel de expertos y estudio de franja).
- Cargo para fondo de estabilización. Ley 21.472 (Aplica a clientes con consumos de energía mayor o superior a 350 kWh)
- Cargo por energía: Es el producto de la multiplicación entre la energía consumida (kWh) y el precio unitario.

- Cargo por demanda máxima de potencia leída

Es importante explicar que el cargo por demanda máxima de potencia leída se obtiene del producto multiplicativo entre la demanda máxima de potencia mensual y el precio unitario.

Demanda máxima de potencia mensual

Para obtener la demanda máxima de potencia mensual se considera el mayor de los valores entre la demanda máxima registrada por mes y el promedio de las dos demandas máximas registradas en los meses donde se aplicó la hora punta.

Precio unitario

El precio unitario se obtiene de la clasificación entre dos tipos de consumos denominados: Presente en Punta y Parcialmente Presente en Punta.

Presente en Punta

Se considera como precio unitario cuando la potencia contratada o la demanda máxima leída ocurre en hora punta de forma manifiesta, para ello se debe cumplir la siguiente condición:

$$\frac{\text{Demanda media}}{\text{Demanda máxima leída (tarifa BT3)}} > 0,5$$

$$\frac{\text{Consumo de energía durante horas puntas}}{\text{Nº de horas}} = \text{Demanda media}$$

Además, si se produce la siguiente condición de forma frecuente por al menos 1 horas, se considera como un suceso ocurrente por al menos 5 días al mes.

$$\frac{\textit{Demanda media}}{\textit{Demanda máxima leída (tarifa BT3)}} > 0,85$$

Parcialmente presente en Punta

Se aplica como precio unitario cuando la potencia contratada o la demanda máxima leída se consume parcialmente en horario punta.

$$\frac{\textit{Demanda media}}{\textit{Demanda máxima leída (tarifa BT3)}} < 0,5$$