

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA  
SEDE CONCEPCIÓN – REY BALDUINO DE BÉLGICA**

**PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CAMBIO DE  
ELECTROBOMBAS PARA RED DE AGUA POTABLE EN EDIFICIO DALCAHUE III  
SANTIAGO CENTRO REGIÓN METROPOLITANA**

Trabajo de Titulación para optar al Título  
de Ingeniero en Mantenimiento Industrial  
con Licenciatura en Ingeniería.

Alumno:

Johan Alfonso Ortiz Araya

Profesor Guía:

Guillermo Felipe Larson Muñoz

**2026**



## 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: Propuesta de plan de mantenimiento preventivo y cambio de electrobombas para edificio Dalcáhue III Santiago Región Metropolitana

Nombre del candidato(a): Johan Alfonso Ortiz Araya

Carrera / Grado: Ingeniería en mantenimiento industrial

Campus: Sede Concepción. Departamento: Mecánica

### 2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Guillermo Felipe Larson Muñoz, 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):

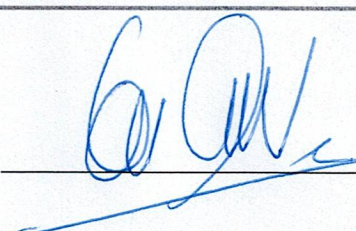
---

---

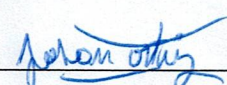
---

### 4.- FIRMAS

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

Fecha: 16/10/26 Firma: 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 16/10/26 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.*

***Dedicatoría:** Este proyecto se lo dedico a mi familia que siempre estuvo ahí para mí en todo este proceso, además de mi pareja y sus padres que son como mi segunda familia que me apoyaron en la última fase abriendo las puertas de su hogar para mí...*

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que fueron parte de este importante proceso académico y personal, quienes con su apoyo, confianza y compañía hicieron posible la culminación de este trabajo de título.

A mi familia, por estar presente de manera incondicional durante todo este camino, entregándome apoyo, comprensión y motivación en cada momento. En especial, quiero agradecer a mi madre, quien estuvo siempre a mi lado, brindándome su amor, apoyo y confianza en cada desafío que se presentó durante este proceso. Gracias por acompañarme en los momentos más difíciles, por impulsarme a continuar y por ser un pilar fundamental en mi formación personal y profesional.

A mi pareja, Ana Valentina Moena Gaete, quiero dedicar un agradecimiento especial por haber sido uno de los pilares fundamentales durante esta etapa. Gracias por tu compañía, paciencia, comprensión y apoyo constante; por entregarme ánimo en los momentos más complejos y ayudarme a mantener la motivación para seguir adelante hasta alcanzar este objetivo.

A mi tía Aurora Araya Carrasco, quiero agradecerle profundamente por su apoyo, cariño y preocupación durante este proceso. Sus palabras de aliento y acompañamiento fueron fundamentales para continuar avanzando y enfrentar los desafíos que surgieron durante esta etapa.

También quiero dedicar unas palabras a mi tía María Inés Araya Carrasco, quien ya no se encuentra junto a nosotros, pero cuyo recuerdo y cariño permanecerán siempre presentes en mi vida. Agradezco todo lo que significó para mí y la llevo conmigo como una fuente de inspiración y fortaleza.

A la familia Moena Gaete, quiero expresar mi profundo agradecimiento por abrirme las puertas de su hogar y brindarme un espacio donde poder residir durante parte de este proceso estudiantil en la ciudad de Concepción. Su acogida, generosidad y apoyo fueron fundamentales para poder continuar desarrollando este trabajo de título con tranquilidad y dedicación.

Finalmente, culminar este trabajo de título representa no solo el resultado de mi esfuerzo y dedicación, sino también el reflejo del apoyo, cariño y confianza de todas las personas que me acompañaron durante este camino. A cada uno de ellos, les estaré siempre agradecido por formar parte de este logro.

## **RESUMEN**

El presente proyecto propone mejorar el sistema de bombeo de agua potable del Edificio Dalcahue III mediante un diagnóstico técnico, un análisis de fallas y el diseño de un plan de mantenimiento preventivo orientado a mejorar la fiabilidad y disponibilidad operativa del sistema.

Los principales problemas identificados en la evaluación fueron la antigüedad de las electrobombas, los equipos fuera de servicio, la pérdida de redundancia operativa y la falta de registros históricos de mantenimiento. Para evaluar estos problemas, se aplicaron herramientas de ingeniería de mantenimiento, entre ellas el análisis de Ishikawa, los 5 porqués, la criticidad y el AMEF, con el fin de identificar las causas de las fallas y determinar oportunidades de mejora.

Como solución, se propone la sustitución parcial de equipos críticos, un programa de mantenimiento preventivo, registros técnicos e indicadores de fiabilidad. La evaluación económica se realizó mediante la comparación de cotizaciones y la identificación de una alternativa técnica y financieramente viable, financiada mediante un aumento del gasto común.

La propuesta busca transformar la gestión actual, de reactiva a preventiva, mejorar la fiabilidad del sistema de bombeo, reducir el riesgo de fallas y prolongar la vida útil de los activos.

## ÍNDICE

|                                                       |           |
|-------------------------------------------------------|-----------|
| <b>INTRODUCCIÓN.....</b>                              | <b>11</b> |
| <b>OBJETIVOS .....</b>                                | <b>12</b> |
| Objetivo general:.....                                | 12        |
| Objetivos específicos:.....                           | 12        |
| <b>CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>     | <b>13</b> |
| INTRODUCCIÓN.....                                     | 14        |
| 1. Antecedentes del proyecto .....                    | 14        |
| 1.2. Descripción del proyecto .....                   | 15        |
| 1.3. Justificación del proyecto .....                 | 16        |
| 1.4. Beneficios del proyecto .....                    | 16        |
| 1. Fiabilidad del sistema de suministro de agua ..... | 16        |
| 2. Reducción del riesgo operativo .....               | 17        |
| 3. Optimización de los costos de mantenimiento .....  | 17        |
| 4. Reducción del consumo de energía.....              | 17        |
| 5. Cumplimiento con los principios de ISO 55001.....  | 17        |
| 6. Seguridad y operación de la sala de bombas .....   | 18        |
| 7. Beneficio directo para los residentes.....         | 18        |
| <b>CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO .....</b>                | <b>19</b> |
| 1. Definición del mantenimiento y sus tipos.....      | 20        |
| 1.1. Mantenimiento correctivo .....                   | 20        |
| 1.2. Mantenimiento preventivo .....                   | 20        |
| 1.3. Mantenimiento predictivo .....                   | 21        |
| 1.4. Mantenimiento proactivo .....                    | 21        |
| 1.5. Mantenimiento basado en confiabilidad (RCM)..... | 22        |
| 2. Introducción a la Hidráulica .....                 | 22        |
| 2.1. Presión en los sistemas de agua .....            | 22        |
| 2.2. Relación entre presión y altura:.....            | 23        |
| 2.3. Caudal (Q).....                                  | 23        |
| 2.4. Energía del fluido y ecuación de Bernoulli ..... | 23        |
| 2.5. Altura geométrica.....                           | 23        |
| 2.6. Pérdidas de carga .....                          | 24        |

|                                                                               |           |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.7. Presión mínima requerida en artefactos .....                             | 24        |
| 2.8. Altura manométrica total (HMT) .....                                     | 24        |
| 2.9. Curvas características de bombas .....                                   | 25        |
| 2.10. Cavitación .....                                                        | 26        |
| 3. Relación entre hidráulica y diseño del sistema de bombas en edificios..... | 26        |
| 3.1. Componentes del equipo .....                                             | 27        |
| 3.2. Funcionamiento de la sala de bombas .....                                | 27        |
| 4. Componentes principales de la sala de bombas .....                         | 28        |
| 5. Introducción a la ISO 55001 .....                                          | 30        |
| 5.1. Relación con la gestión de activos (ISO 55001) .....                     | 31        |
| 5.2. Análisis de causa raíz.....                                              | 31        |
| 5.2.1. Objetivos del análisis de causa raíz .....                             | 32        |
| 5.2.2. Diagrama de Ishikawa .....                                             | 32        |
| 5.2.3. Técnica de los 5 porqués.....                                          | 33        |
| 5.2.4. Importancia del análisis de causa raíz en sistemas de bombeo.....      | 34        |
| 5.2.5. Relación con el mantenimiento preventivo .....                         | 34        |
| 5.2.6. Relación con ISO 55001.....                                            | 34        |
| <b>CAPÍTULO III SITUACIÓN ACTUAL DE LA SALA DE BOMBAS .....</b>               | <b>36</b> |
| 1.1. Caracterización general de la sala de bombas .....                       | 37        |
| Tabla 3.1. Caracterización general del sistema de bombeo .....                | 37        |
| 2. Situación documental y gestión actual del mantenimiento .....              | 38        |
| 3. Diagnóstico de obsolescencia de las electrobombas .....                    | 39        |
| 4. Análisis de causas mediante diagrama de Ishikawa .....                     | 40        |
| 5. Análisis de causa raíz mediante la metodología de los 5 porqués .....      | 42        |
| 6. Análisis de criticidad del sistema de bombeo .....                         | 43        |
| 7. Análisis de modos y efectos de falla del sistema de bombeo mediante FMEA44 |           |
| 8. Síntesis del diagnóstico técnico .....                                     | 46        |
| <b>CAPÍTULO IV DISEÑO Y SOLUCIÓN.....</b>                                     | <b>48</b> |
| 4.1. Objetivo del diseño de la solución .....                                 | 49        |
| II. Enfoque basado en riesgos.....                                            | 49        |
| 4.2. Bases y criterios de diseño .....                                        | 49        |
| 4.3. Cálculo preliminar de la altura manométrica total .....                  | 50        |
| 4.3.1 Altura geométrica .....                                                 | 50        |

|                                                             |           |
|-------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.3.2 Presión residual requerida .....                      | 50        |
| 4.3.3 Pérdidas de carga.....                                | 50        |
| 4.3.4 Resultado de la altura manométrica total.....         | 51        |
| 4.4. Selección preliminar de la electrobomba.....           | 51        |
| 4.5. Trabajos por realizar.....                             | 52        |
| 4.6. Cotizaciones: pasos y consideraciones .....            | 53        |
| Plan de mantenimiento preventivo basado en criticidad ..... | 54        |
| Indicadores de control del plan .....                       | 57        |
| 4.7. Resultado esperado del proceso de cotización .....     | 57        |
| 4.8. Puesta en marcha y verificación .....                  | 57        |
| <b>CAPÍTULO V EVALUACIÓN ECONÓMICA .....</b>                | <b>59</b> |
| <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>                 | <b>63</b> |
| <b>6.1 Conclusiones.....</b>                                | <b>64</b> |
| 6.1.1 Diagnóstico de la situación actual .....              | 64        |
| 6.1.2 Propuesta de renovación parcial .....                 | 65        |
| 6.1.3 Plan de mantenimiento preventivo.....                 | 65        |
| 6.1.4 Evaluación económica de la propuesta .....            | 66        |
| <b>6.2 Recomendaciones .....</b>                            | <b>67</b> |
| 6.2.1 Verificaciones antes de adquirir los equipos .....    | 67        |
| 6.2.2 Ejecución y recepción de la intervención.....         | 67        |
| 6.2.3 Mantenimiento y control de la información.....        | 68        |
| 6.2.4 Presupuesto y financiamiento comunitario .....        | 68        |
| 6.2.5 Seguimiento y decisiones de renovación futura .....   | 68        |
| <b>6.3 Alcance y limitaciones del estudio .....</b>         | <b>69</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>                                   | <b>70</b> |
| <b>ANEXOS .....</b>                                         | <b>71</b> |

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curva Q-H bomba Pedrollo 2CP 40/180B  
Figura 2. Tabla Q-H 2CP 40/180B  
Figura 3. Curva NPSH bomba 2CP 40/180B  
Figura 4. Ejemplos de cavitación en impulsores  
Figura 5. Desarme bomba Pedrollo 2CP 40/180B  
Figura 6. Diagrama causa-efecto de Ishikawa  
Figura 3.1. Diagrama de Ishikawa aplicado al deterioro del sistema de electrobombas  
Figura 4.1. Plan de mantención para sala de bombas  
Figura 5.1. Certificado de visita técnica y antecedentes de mantenimiento Edificio Dalcahue III

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Caracterización general del sistema de bombeo  
Tabla 3.2. Brechas de información detectadas en la gestión de mantenimiento  
Tabla 3.3. Indicadores cualitativos de obsolescencia identificados  
Tabla 3.4. Causas identificadas mediante análisis de Ishikawa  
Tabla 3.5. Aplicación de la metodología de los 5 Porqués  
Tabla 3.6. Escala de consecuencias  
Tabla 3.7. Evaluación de consecuencias del sistema de bombeo  
Tabla 3.8. Escala de probabilidad de falla  
Tabla 3.9. Evaluación de probabilidad de falla  
Tabla 3.10. Clasificación de criticidad  
Tabla 3.11. Criterios de prioridad del RPN  
Tabla 3.12. FMEA del sistema de bombeo de agua potable  
Tabla 4.1. Bases preliminares de diseño

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Declaración Edificio Dalcahue III

### **SIGLA Y SIMBOLOGÍA**

|                |   |                                           |
|----------------|---|-------------------------------------------|
| %              | : | Porcentaje.                               |
| °C             | : | Grados Celsius.                           |
| K              | : | Grados Kelvin.                            |
| °F             | : | Grados Fahrenheit.                        |
| °R             | : | Grados Rankine.                           |
| T°             | : | Temperatura.                              |
| ANSI           | : | American National Standards Institute.    |
| ASME           | : | American Society of Mechanical Engineers. |
| API            | : | American Petroleum Institute.             |
| Pa             | : | Pascal.                                   |
| MPa            | : | Megapascal.                               |
| PSI            | : | Pound per square inch.                    |
| P <sub>o</sub> | : | Presión atmosférica.                      |
| P <sub>m</sub> | : | Presión manométrica.                      |
| kg             | : | Kilogramo.                                |
| lb             | : | Libra.                                    |
| g              | : | Gravedad.                                 |
| N              | : | Newton.                                   |
| m              | : | Metro.                                    |
| in             | : | Pulgada.                                  |
| F              | : | Fuerza.                                   |
| A              | : | Área.                                     |
| Q              | : | Caudal.                                   |
| V              | : | Volumen.                                  |
| v              | : | Velocidad.                                |
| t              | : | Tiempo.                                   |

|           |   |                                               |
|-----------|---|-----------------------------------------------|
| $\rho$    | : | Densidad.                                     |
| $\nu$     | : | Viscosidad cinemática.                        |
| PTFE      | : | Teflón.                                       |
| DC        | : | Corriente continua.                           |
| AC        | : | Corriente alterna.                            |
| N·m       | : | Newton metro.                                 |
| TK        | : | Depósito de crudo.                            |
| KPI       | : | Indicador clave de desempeño.                 |
| 2D        | : | Bidimensional.                                |
| 3D        | : | Tridimensional.                               |
| CAD       | : | Diseño asistido por computadora.              |
| ASTM      | : | Sociedad Americana para Ensayos y Materiales. |
| SAE       | : | Society of Automotive Engineers.              |
| NPT       | : | National Pipe Thread.                         |
| LPM       | : | Litros por minuto.                            |
| GPM       | : | Galones por minuto.                           |
| cos       | : | Coseno.                                       |
| A         | : | Amperaje.                                     |
| Hz        | : | Hertz.                                        |
| PH        | : | Potencia hidráulica.                          |
| Dv        | : | Desplazamiento volumétrico.                   |
| Baterías: | : | Depósito mayor de alojamiento de crudo.       |
| RFID      | : | Identificación por radiofrecuencia.           |
| PLC       | : | Controlador lógico programable.               |
| N         | : | Boquilla (brida).                             |
| FO        | : | Fuel oil.                                     |
| P&ID      | : | Diagrama de tuberías e instrumentación.       |

## **INTRODUCCIÓN**

El presente proyecto se desarrolla en un edificio residencial ubicado en Santiago Centro, Región Metropolitana, cuyo sistema de suministro de agua potable cuenta con cuatro bombas centrífugas instaladas en paralelo y una alternancia manual cada dos meses.

El equipo ha estado en funcionamiento durante aproximadamente 25 años, superando la vida útil de referencia de 15 años para este tipo de sistema. Esta condición aumenta la probabilidad de desgaste mecánico y afecta la fiabilidad y disponibilidad del sistema de bombeo.

Por esta razón, se evaluará la condición actual del equipo y se elaborará una propuesta de renovación y mantenimiento preventivo que permita mantener la continuidad del suministro de agua potable del edificio.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general:**

Proponer el cambio de electrobombas y diseñar un plan de mantenimiento preventivo basado en ISO 55001 para la gestión de activos.

### **Objetivos específicos:**

- Diagnosticar y analizar la problemática actual de la sala de bombas con herramientas de gestión.
- Proponer cambio de electrobombas por obsolescencia basado en ISO 55001.
- Plantear un plan de mantenimiento preventivo para los equipos involucrados en el sistema de red de agua potable.
- Realizar un análisis económico del proyecto que permita evaluar los costos de inversión, operación y mantenimiento, comparando alternativas de reemplazo y estableciendo la opción más eficiente.

**CAPÍTULO I**  
**PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

## **INTRODUCCIÓN**

El edificio utiliza cuatro electrobombas Pedrollo 2CP 40/180 de 7,5 HP, que han operado durante más de 26 años y han superado la vida útil recomendada por el fabricante. Este desgaste ha generado una disminución de la eficiencia hidráulica y una alta probabilidad de fallas mecánicas. Una de estas bombas presentó una falla importante y debió ser retirada del servicio, reduciendo la capacidad de respaldo del sistema y la continuidad del suministro de agua potable. Actualmente, no existe un sistema formal de gestión de activos que permita planificar el mantenimiento, el reemplazo o la renovación de los equipos. Esta situación ha derivado en una gestión reactiva, con altos costos correctivos, baja eficiencia energética y escasa preparación ante fallas inesperadas. Por ello, se requiere un plan de mantenimiento y reemplazo basado en criterios técnicos, económicos y en la norma ISO 55001, que contribuya a mantener el servicio de agua potable, mejorar el desempeño operativo y optimizar el uso de los recursos del edificio.

### **1. Antecedentes del proyecto**

El edificio en estudio es un edificio residencial situado en la comuna de Santiago Centro, Región Metropolitana, con 14 pisos habitables, así como dos niveles subterráneos (-1 y -2). Hay una sala de bombas en el nivel -2 que proporciona servicio de agua potable al sistema de agua potable del edificio. La sala de bombas está compuesta por cuatro bombas eléctricas centrífugas Pedrollo 2CP 40/180B de 7,5 HP y se opera de manera alternada para proporcionar un servicio continuo y el estándar de servicio. Una de estas cuatro bombas ya ha fallado y ha sido retirada del sistema y las otras tres están en operación, por lo que solo quedan tres bombas. Las bombas instaladas han estado operando por más de 26 años, lo cual es mucho más tiempo que la vida útil recomendada por el fabricante de 15 a 20 años, dependiendo de los procesos de operación y mantenimiento. Como resultado, las partes internas de las bombas han experimentado un desgaste significativo, al igual que la eficiencia hidráulica, el consumo de energía y una mayor probabilidad de fallas no programadas. El sistema hidráulico del edificio transferirá agua desde el nivel -2 hasta el piso 14 y la altura manométrica total del edificio será de 38,4 m. Considerando las pérdidas de presión en las tuberías y los accesorios y la presión mínima requerida para la disposición de agua en los puntos de consumo, las bombas deberán alcanzar la altura manométrica de 68 m.c.a., que es el mismo valor que el que está en operación. La falla de una de las bombas junto con el envejecimiento general del sistema ha desencadenado la necesidad de evaluar opciones de reemplazo y mantenimiento. Sin embargo, debido al déficit presupuestario del edificio (que solo se financia con gastos comunes), no es posible reemplazar completamente las cuatro bombas en el mismo proceso. Por lo tanto, debemos optar por un plan de intervención parcial que comience con el reemplazo de dos bombas, dejando las otras dos operativas y planificando mejoras futuras. Existe una necesidad importante de aplicar principios de gestión de activos bajo la norma ISO 55001 que se basan en el ciclo de vida de los activos, la

evaluación de riesgos, la optimización de recursos y la mejora continua. El proyecto tiene como objetivo diseñar las soluciones mecánicas, establecer un plan de mantenimiento preventivo, analizar diferentes propuestas económicas y justificar técnicamente la renovación de las bombas basándose en criterios de rendimiento, seguridad y sostenibilidad operativa. Estos antecedentes indican que la situación actual del sistema de bombeo está en riesgo de fallas operativas, altos costos correctivos, baja eficiencia energética y un impacto negativo en los residentes, y que esta es una iniciativa necesaria y estratégica que garantizará que el servicio de agua potable en el edificio pueda continuar.

## **1.2. Descripción del proyecto**

El presente proyecto consiste en el análisis, evaluación y propuesta de renovación parcial del sistema de bombeo de agua potable del edificio ubicado en la comuna de Santiago Centro. Este edificio cuenta con catorce niveles habitacionales y dos subterráneos, lo cual exige un sistema de impulsión capaz de suministrar presión y caudal suficientes para abastecer adecuadamente a todos los departamentos y áreas comunes.

La sala de bombas se encuentra emplazada en el nivel -2 y actualmente está compuesta por cuatro electrobombas centrífugas modelo Pedrollo 2CP 40/180B de 7,5 HP, destinadas a operar en régimen de alternancia para asegurar continuidad de servicio y distribución uniforme del desgaste. Sin embargo, una de estas bombas se encuentra fuera de servicio debido a una falla grave asociada a su antigüedad, reduciendo la confiabilidad del sistema y dejando al edificio con un nivel insuficiente de redundancia operativa.

El diagnóstico realizado evidenció que las bombas restantes superan los 26 años de funcionamiento, lo cual excede ampliamente la vida útil esperada para equipos de estas características. Esto ha generado disminución de la eficiencia hidráulica, desgaste en componentes internos, incremento en el riesgo de fallas no programadas y un aumento gradual de los costos de operación y mantenimiento. Adicionalmente, se identificaron válvulas y elementos hidráulicos en estado crítico, con presencia de incrustaciones, fugas y deterioro general.

El proyecto contempla el reemplazo de dos electrobombas, junto con la instalación de nuevas válvulas de succión y descarga, la corrección de elementos hidráulicos deteriorados y la recuperación funcional del sistema mediante prácticas de instalación correctas, alineación mecánica y pruebas de funcionamiento. Esta intervención se prioriza considerando las limitaciones presupuestarias del edificio, donde los recursos provienen exclusivamente de los gastos comunes, por lo que se opta por una estrategia de renovación parcial que permita restablecer la confiabilidad del sistema sin generar un aumento considerable en los costos para los residentes.

Para seleccionar la opción más adecuada, el proyecto incorpora un análisis técnico-económico comparativo basado en cotizaciones de cuatro proveedores diferentes, evaluando aspectos como costo inicial, alcance del servicio, calidad de los materiales

e implicancias en el ciclo de vida del activo. Asimismo, se aplica la metodología de gestión de activos alineada a la norma ISO 55001, considerando la criticidad del sistema de bombeo, los riesgos asociados a fallas operativas, los costos de ciclo de vida y los beneficios esperados para el edificio.

La ejecución del proyecto permitirá recuperar la capacidad operativa del sistema de bombeo, mejorar la presión de suministro hacia los pisos superiores, reducir los riesgos de fallas inesperadas, optimizar el uso del presupuesto disponible y asegurar la continuidad del suministro de agua potable para los residentes. Asimismo, establecerá las bases para una futura planificación de reemplazo total del sistema, dentro de un marco de gestión de activos eficiente y sostenible.

### **1.3. Justificación del proyecto**

El edificio depende de cuatro electrobombas Pedrollo 2CP 40/180 de 7,5 HP que, tras más de 26 años de operación, han superado su vida útil y presentan un desgaste significativo que afecta su rendimiento y fiabilidad. Una de ellas se encuentra averiada y debe retirarse del servicio, por lo que la redundancia del sistema se reduce y aumenta el riesgo de interrupción del suministro de agua potable. Sin un sistema formal de gestión de activos, resulta difícil planificar el reemplazo y el mantenimiento preventivo de los equipos; como consecuencia, aumentan los costos correctivos y se pierde eficiencia energética. Esta situación evidencia la necesidad de adoptar un enfoque sistemático que mejore el uso de los recursos técnicos y económicos, la continuidad del servicio y la vida útil de los equipos críticos. En este sentido, el proyecto aplica las directrices de ISO 55001 al ciclo de vida de las electrobombas y propone procedimientos de mantenimiento planificado, control de desempeño y gestión de repuestos esenciales. De esta manera, se busca asegurar la fiabilidad operativa, la eficiencia energética y la sostenibilidad del sistema de agua potable del edificio.

### **1.4. Beneficios del proyecto**

La renovación parcial del sistema de bombeo del edificio, que considera el reemplazo de dos electrobombas y mejoras en el sistema hidráulico, aporta beneficios técnicos, operativos, económicos y de gestión que inciden en la fiabilidad del sistema y en la calidad de vida de los residentes. A continuación, se presentan los principales beneficios del proyecto:

#### **1. Fiabilidad del sistema de suministro de agua**

El reemplazo de dos bombas antiguas por equipos nuevos aporta redundancia al sistema y permite mantener el suministro de agua aun si una de las unidades fallara.

Esto reduce el riesgo de interrupciones, especialmente en los pisos más altos, donde la presión requerida es mayor.

Con las nuevas bombas operando con curvas de rendimiento máximo, la altura de elevación resultante es:

- estabilidad en la presión entregada.
- mejora en las tasas de flujo de suministro.
- reducción del riesgo de cavitación.

Esto resultará en un servicio de agua más uniforme y confiable en todos los apartamentos.

## **2. Reducción del riesgo operativo**

La antigüedad del sistema original y el desgaste de válvulas y tuberías representaban un alto riesgo de múltiples fallos.

El proyecto mitiga estos riesgos mediante:

- modernización de válvulas de succión y descarga.
- eliminación de incrustaciones internas.
- recuperación adecuada de la red hidráulica.
- reducción de contingencias y emergencias hidráulicas.

## **3. Optimización de los costos de mantenimiento**

Las bombas antiguas requerían:

- mantenimiento frecuente.
- mayor consumo de energía.
- reemplazo semanal de sellos, cojinetes y acoplamientos.
- fallos por cavitación o sobrecalentamiento.

Con el nuevo equipo, se reduce el costo del mantenimiento correctivo.

- se reduce el gasto energético.
- se extiende la vida útil del sistema.
- esto mejora la gestión financiera de los gastos comunes.

## **4. Reducción del consumo de energía**

Las bombas modernas pueden operar con mayor eficiencia mecánica e hidráulica, reduciendo el consumo de energía, las horas de operación innecesarias y los costos mensuales asociados. Los ahorros se acumulan durante el ciclo de vida del activo.

## **5. Cumplimiento con los principios de ISO 55001**

El proyecto se alinea con buenas prácticas de gestión de activos, tales como:

- evaluación de criticidad.
- análisis de riesgos.
- toma de decisiones del ciclo de vida.
- uso eficiente de los recursos económicos.

- mejora continua del sistema. Esto apoya la gestión del edificio y permite implementar un plan de renovación a largo plazo.

## **6. Seguridad y operación de la sala de bombas**

La intervención incluye:

- ordenamiento de tuberías.
- reparaciones de válvulas rotas.
- control de cableado.
- limpieza y desincrustación del sistema.
- mejora de la seguridad y del mantenimiento futuro del sistema.

## **7. Beneficio directo para los residentes**

Los residentes del edificio se benefician de las siguientes mejoras:

- se mantiene la presión de agua en duchas e instalaciones sanitarias.
- disminuye la probabilidad de cortes de agua.
- se reducen los inconvenientes asociados a trabajos de emergencia.
- mejora la habitabilidad y la calidad de vida. Al reemplazar solo una parte de las bombas, se evita un aumento excesivo de los gastos comunes.

## **8. Preparación para mejoras futuras del sistema**

- manteniendo la continuidad sin aumentar mucho el presupuesto.
- planificando el reemplazo total de las otras bombas en etapas futuras.
- mejora constante y sostenida de la infraestructura sin afectar a los residentes.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

## **1. Definición del mantenimiento y sus tipos**

El mantenimiento es el proceso de mantener o mejorar el rendimiento de un activo durante su vida útil. El objetivo es asegurarse de que los equipos, sistemas e instalaciones funcionen de manera rutinaria y confiable, previniendo fallos inesperados y minimizando los costos operativos. Según lo reconocido por las normas internacionales (ISO 14224 e ISO 55001), el mantenimiento es uno de los elementos clave que ayuda a garantizar la continuidad operativa y la adecuada gestión de los activos físicos. Para los sistemas de bombeo, es esencial asegurar el suministro de agua, prolongar la vida útil del equipo y minimizar los incidentes que afectan a los usuarios. El mantenimiento suele organizarse en diferentes tipos dependiendo del propósito y el momento de las actividades.

### **1.1. Mantenimiento correctivo**

El mantenimiento correctivo implica llevar a cabo reparaciones en un equipo después de que se ha producido una falla. Su finalidad es restaurar la funcionalidad del activo en el menor tiempo posible. Este tipo de mantenimiento tiende a ser más costoso por las siguientes razones:

daños secundarios causados por la falla.

urgencia en la adquisición de piezas de repuesto.

periodo de inactividad del equipo.

interrupciones en el suministro o en la operación.

En sistemas de bombeo, el mantenimiento correctivo puede incluir:

- reemplazo de sellos mecánicos rotos.
- cambio de rodamientos dañados.
- reparación de impulsores desgastados.
- sustitución de válvulas trabadas.

El correctivo es necesario, pero no debe ser la estrategia principal, ya que incrementa riesgos y costos operativos.

### **1.2. Mantenimiento preventivo**

El mantenimiento preventivo es un conjunto de actividades planificadas con anticipación, con el fin de evitar que ocurran fallas. Se basa en inspecciones periódicas, limpieza, lubricación, calibración y reemplazo anticipado de componentes críticos.

Sus principales beneficios son:

- prolonga la vida útil del equipo.
- reduce fallas inesperadas.
- mejora la eficiencia eléctrica e hidráulica.
- disminuye costos asociados a reparaciones de emergencia.

En una sala de bombas, el mantenimiento preventivo incluye:

- lubricación de rodamientos.
- revisión de alineación.
- inspección de válvulas.
- verificación de presión y caudal.
- medición de vibraciones.
- ajuste del estanque hidroneumático.

Este tipo de mantenimiento es fundamental para la gestión profesional de activos.

### **1.3. Mantenimiento predictivo**

El mantenimiento predictivo utiliza técnicas de monitoreo de condición para anticipar fallas antes de que ocurran, basándose en parámetros medibles como vibraciones, temperatura, presión, caudal, consumo energético y análisis del aceite.

El objetivo es intervenir exactamente cuando el equipo lo necesita, optimizando recursos y evitando intervenciones innecesarias.

Ejemplos en bombas centrífugas:

- análisis de vibración para detectar desbalance o desalineación.
- termografía infrarroja para identificar sobrecalentamiento.
- análisis eléctrico del motor.
- medición de cavitación mediante presión de succión.
- Este tipo de mantenimiento es más avanzado, pero ofrece alta confiabilidad.

### **1.4. Mantenimiento proactivo**

Es una evolución del preventivo y predictivo. Se enfoca en corregir las causas raíz que originan fallas repetitivas, en lugar de solo reparar los efectos.

Incluye:

- análisis causa raíz (RCA).
- mejoras de diseño.

- optimización de procedimientos.
- selección de materiales más adecuados.

Aplicado a bombas, un mantenimiento proactivo puede incluir rediseñar la succión para eliminar cavitación o reemplazar válvulas que generan pérdidas excesivas.

### **1.5. Mantenimiento basado en confiabilidad (RCM)**

El mantenimiento centrado en confiabilidad (Reliability-Centered Maintenance, RCM) busca definir la estrategia óptima de mantenimiento para cada equipo según su:

- Función.
- criticidad.
- efectos de fallas.
- probabilidad de falla.

Es la metodología más utilizada en industrias avanzadas y se relaciona directamente con ISO 55001, ya que permite priorizar recursos de acuerdo con riesgos y valor del activo.

## **2. Introducción a la Hidráulica**

Principios de la Hidráulica en Sistemas de Bombeo para Edificios

La hidráulica es una rama de la mecánica de fluidos que estudia el comportamiento del agua, ya sea en movimiento o en reposo. Para los sistemas de abastecimiento de agua en edificios, como el que se analiza en este proyecto, es crucial comprender los principios hidráulicos que guían la correcta selección, operación y mantenimiento de las bombas centrífugas, que son responsables de trasladar agua desde la sala de máquinas a los niveles superiores del edificio.

Entre los conceptos hidráulicos más significativos se incluyen la presión, el caudal, la energía del fluido, la altura manométrica, la velocidad del agua, las pérdidas de carga y los criterios de diseño aplicables a sistemas verticales.

### **2.1. Presión en los sistemas de agua**

La presión se entiende como la fuerza que el agua ejerce sobre las paredes de una tubería por cada unidad de área. En el ámbito de la hidráulica en edificios, es habitual expresar la presión en metros de columna de agua (m.c.a.), ya que esta medida

facilita la comprensión de cómo la presión se relaciona con la altura que el fluido puede alcanzar.

## **2.2. Relación entre presión y altura:**

- 1 bar  $\approx$  10,2 m.c.a.

Esto significa que por cada metro de altura que el agua asciende, se pierde aproximadamente 1 m.c.a. de presión.

## **2.3. Caudal (Q)**

El caudal se refiere al volumen de agua que atraviesa una sección de tubería en un período de tiempo específico. Se mide comúnmente en:

- L/min

- m<sup>3</sup>/h

En un edificio, el caudal requerido varía en función del número de departamentos, la simultaneidad en el uso y la demanda durante las horas de mayor consumo. Por ende, es fundamental que una bomba pueda ofrecer tanto el caudal necesario como la presión mínima requerida en los dispositivos situados en los pisos superiores.

## **2.4. Energía del fluido y ecuación de Bernoulli**

La ecuación de Bernoulli establece que un fluido posee tres formas principales de energía:

Energía de presión (p)

Energía cinética (velocidad)

Energía potencial (altura)

En términos generales:

$$p/\gamma + v^2/(2g) + z = \text{constante}$$

Donde:

$p/\gamma$  = presión expresada como altura

$v^2/(2g)$  = energía cinética

$z$  = altura geométrica

Cuando una bomba añade energía al fluido, lo hace aumentando la altura total.

## **2.5. Altura geométrica**

La altura geométrica es la diferencia vertical entre el punto donde se encuentra la bomba (piso -2 en este caso) y el nivel del último punto de consumo (piso 14).

Dado que cada piso tiene una altura de 2,40 m, y existen 16 niveles entre ambos:

$$H_g = 16 \times 2,40 = 38,4 \text{ m}$$

Esta altura es la energía mínima que la bomba debe vencer para elevar el agua.

## 2.6. Pérdidas de carga

Las pérdidas de carga representan la energía perdida debido al roce del agua con las tuberías y accesorios (codos, tees, válvulas, reducciones).

Existen dos tipos:

### a) Pérdidas distribuidas

Dependen de:

- longitud de tubería.
- diámetro.
- rugosidad.
- velocidad del agua.
- Se calculan con fórmulas como Darcy-Weisbach o Hazen-Williams.

### b) Pérdidas locales o singulares

Generadas por:

- válvulas,
- codos,
- uniones,
- estrechamientos,
- filtros Y,
- conexiones.
- En un edificio como este, típicamente se consideran **10–15 m.c.a.** de pérdidas totales.

## 2.7. Presión mínima requerida en artefactos

- Para garantizar confort en pisos altos, se debe mantener una presión mínima de:
- **10 m.c.a.** (mínimo aceptable)
- **15 m.c.a.** (recomendado)
- Por lo tanto:
- $H_p = 15 \text{ m}$

## 2.8. Altura manométrica total (HMT)

La Altura Manométrica Total es la energía total que la bomba debe entregar para:

- vencer la altura geométrica.
- superar las pérdidas de carga.
- entregar presión mínima en el punto de consumo.

$$H_{MT} = H_g + H_f + H_p$$

Sustituyendo valores reales del edificio:

- $H_{MT} = 38,4 + 12 + 15 = 65,4 \text{ m}$

- Se adopta un valor de diseño:
- $H_{MT, \text{diseño}} \approx 68 \text{ m.c.a.}$

2.9. Curvas características de bombas

Las curvas Q–H muestran:  
cuánta presión entrega la bomba según el caudal,  
el punto óptimo BEP (Best Efficiency Point),  
la potencia requerida.  
Para la bomba Pedrollo 2CP 40/180B, la curva indica que a 68 m.c.a., se logra un caudal cercano a 170–180 L/min, lo cual es adecuado para abastecer un edificio de 14 pisos.

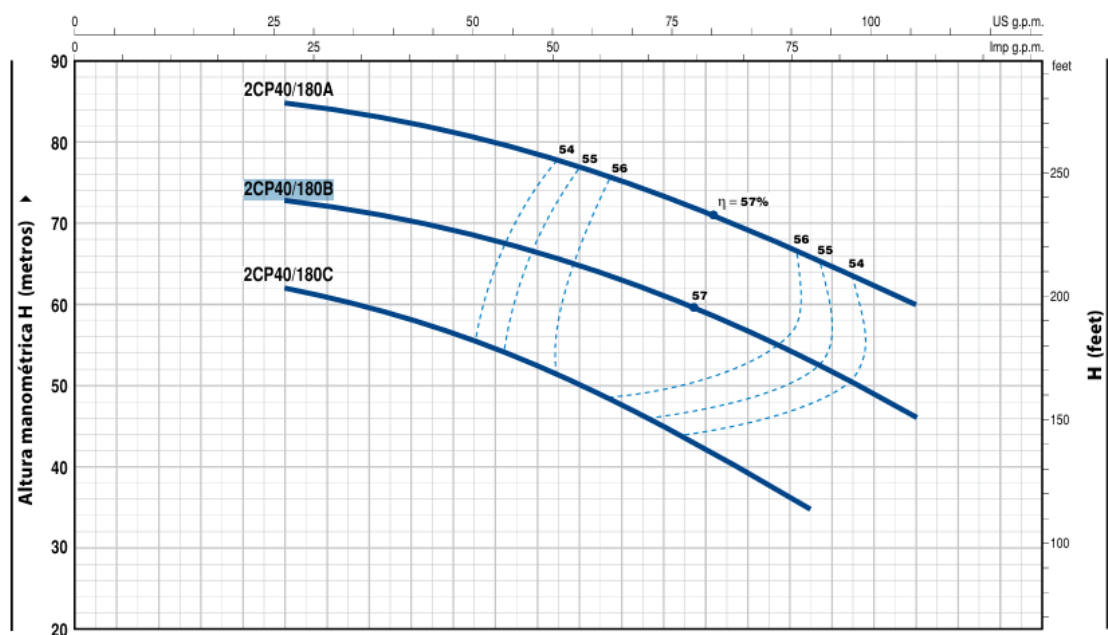


Figura 1. Curva Q-H bomba Pedrollo 2CP 40/180B. Fuente: catálogo proporcionado por el fabricante (Pedrollo).

| MODELO      | POTENCIA (P <sub>2</sub> ) |     | ▲   | Q        | 0  | 6.0 | 6.6  | 7.5 | 8.4 | 9.6 | 10.8 | 12.0 | 15.0 | 18.0 | 21.0 | 24.0 |
|-------------|----------------------------|-----|-----|----------|----|-----|------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
|             | kW                         | HP  |     |          | 0  | 100 | 110  | 125 | 140 | 160 | 180  | 200  | 250  | 300  | 350  | 400  |
| 2CP 40/180C | 4                          | 5.5 | IE3 | H metros | 64 | 62  | 61   | 60  | 59  | 58  | 56   | 54.5 | 49   | 43   | 35   |      |
| 2CP 40/180B | 5.5                        | 7.5 |     |          | 76 | 73  | 72.5 | 72  | 71  | 70  | 69   | 67.5 | 64   | 59.5 | 54   | 46   |
| 2CP 40/180A | 7.5                        | 10  |     |          | 88 | 85  | 84.5 | 84  | 83  | 82  | 81   | 79.5 | 76   | 72   | 67   | 60   |

Figura 2. Tabla Q-H 2CP 40/180B. Fuente: catálogo proporcionado por el fabricante (Pedrollo).

2.10. Cavitación

La cavitación ocurre cuando la presión en la entrada de la bomba cae por debajo del punto de vaporización del agua.

Consecuencias:

- erosión del impulsor.
- vibraciones.
- pérdida de caudal.
- daños irreversibles.

Se evita asegurando que el NPSH disponible > NPSH requerido.

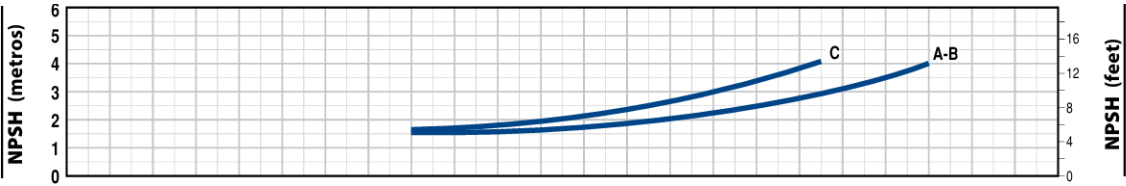


Figura 3. Curva NPSH bomba 2CP 40/180B. Fuente: catálogo proporcionado por el fabricante (Pedrollo).



Figura 4. Ejemplos de cavitación en impulsores. Fuente: libro Hidráulica de Bombas Ideal.

3. Relación entre hidráulica y diseño del sistema de bombas en edificios

Los principios hidráulicos determinan:

- la selección del modelo correcto de bomba.
- cuánta energía debe entregar.
- cuántas bombas operar en alternancia.
- las necesidades de mantenimiento preventivo.
- los límites de presión para evitar fallas mecánicas.

Para el edificio:

- HMT  $\approx 68\text{ m}$   $\rightarrow$  confirma que las bombas instaladas son adecuadas.
- Caudal de  $\sim 180\text{ L/min}$   $\rightarrow$  asegura abastecimiento en horas punta.
- Pérdidas consideradas  $\rightarrow$  permiten diseño realista.
- Presión mínima garantizada  $\rightarrow$  evita reclamos por baja presión.

3.1. Componentes del equipo

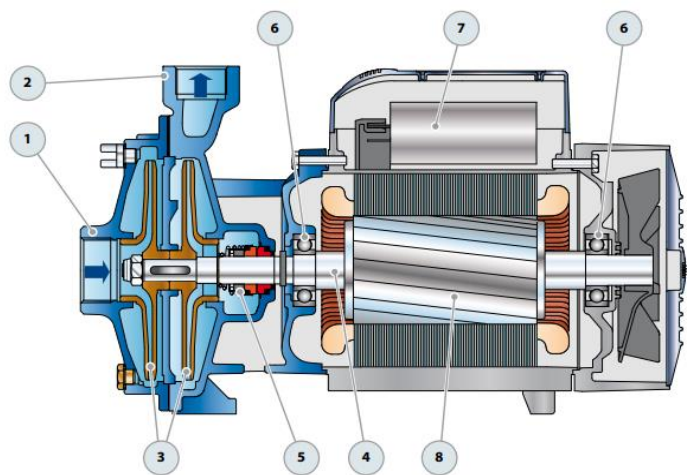


Figura 5. Desarme de bomba Pedrollo 2CP 40/180B. Fuente: proporcionado por el fabricante (Pedrollo).

Componentes del equipo según figura 5:

| Posición | Componente           | Material / Característica            |
|----------|----------------------|--------------------------------------|
| 1        | Cuerpo de aspiración | Hierro fundido                       |
| 2        | Cuerpo de impulsión  | Hierro fundido                       |
| 3        | Rodetes (2)          | Latón                                |
| 4        | Eje motor            | Acero inoxidable EN 10088-3 (1.4104) |
| 5        | Sello mecánico       | Modelo FN-24                         |
| 6        | Rodamientos          | 6306 ZZ-C3 / 6206 ZZ-C3              |
| 7        | Condensador          | Solo modelos monofásicos             |
| 8        | Motor eléctrico      | Trifásico IE3                        |

3.2. Funcionamiento de la sala de bombas

La sala de bombas es el corazón del sistema de suministro de agua potable en edificios de gran altura, ya que es responsable de entregar agua desde la red pública o tanques de almacenamiento a los diferentes pisos del edificio. El diseño, la operación y el mantenimiento de esta instalación son esenciales para garantizar la continuidad del servicio y la presión adecuada en el punto de consumo, así como la seguridad del equipo. El sistema en un edificio de 14 pisos con una sala de bombas en el nivel -2 debe equilibrar la altura geométrica total entre el punto de succión y el punto de distribución más alto, así como las pérdidas de presión en las tuberías y la presión

mínima para los accesorios sanitarios. La sala de bombas está compuesta por varios componentes que realizan funciones específicas y trabajan de manera coordinada.

#### **4. Componentes principales de la sala de bombas**

##### **4.1. Electrobombas centrífugas**

El sistema está compuesto por cuatro bombas centrífugas modelo **Pedrollo 2CP 40/180B** de 7,5 HP. Estas bombas operan bajo el principio de la fuerza centrífuga, impulsando el agua mediante un rodete giratorio que incrementa su energía cinética para transformarla en presión.

Dado que una de estas bombas está fuera de servicio, el sistema funciona con tres bombas operativas y una en reserva (según el diseño original), lo cual afecta la redundancia necesaria para un funcionamiento seguro.

##### **4.2. Sistema de succión**

La sección de succión incluye:

- Tubería de alimentación desde el estanque alimentado de la red pública.
- Válvulas de retención para evitar el retroceso del flujo.
- Válvulas de compuerta para aislar bombas en mantenimiento.
- Uniones flexibles para absorber vibraciones.

**La succión debe mantener una presión y un caudal suficientes para evitar la cavitación en las bombas.**

##### **4.3. Sistema de impulsión**

Tras pasar por la bomba, el agua es dirigida hacia la red vertical de distribución mediante:

- Válvulas de paso en descarga.
- Uniones flexibles y bridas.
- Tubería de acero galvanizado o PVC reforzado.
- Manómetros para medir presión en línea.

**El sistema de impulsión debe entregar la presión necesaria para alcanzar los pisos superiores del edificio.**

##### **4.4. Estanque hidroneumático**

El sistema incorpora un **estanque hidroneumático**, cuya función es:

- estabilizar la presión en la red,
- absorber variaciones por arranques y detenciones,
- reducir los ciclos de encendido de las bombas,
- evitar golpes de ariete,
- actuar como reserva de presión temporal.

El estanque contiene una membrana o diafragma interno y mantiene aire presurizado en su interior, el cual se comprime a medida que el agua ingresa, suministrando presión continua incluso cuando la bomba se detiene momentáneamente.

#### **4.5. Sistema de alternancia de bombas**

Las bombas en este edificio no operan al mismo tiempo. La operación se implementa mediante una alternancia programada, lo que significa que:

una bomba opera a la vez.

cada bomba acumula horas de trabajo de manera uniforme.

el desgaste mecánico se distribuye.

la vida útil se mantiene uniforme entre los equipos.

El sistema generalmente inicia una bomba de acuerdo con la presión mínima establecida y la alterna automáticamente después de un cierto número de horas de operación.

#### **4.6. Secuencia de funcionamiento de la sala de bombas**

El proceso operativo básico es el siguiente:

##### a) Llenado de succión

La red pública o el estanque alimentan la tubería de succión. Las válvulas de retención evitan que el agua regrese.

##### b) Arranque de bomba por baja presión

Si la presión en la red del edificio cae por debajo de un umbral predeterminado, el sistema activa una bomba para restablecerla.

##### c) Impulsión hacia la red vertical

La bomba aumenta la presión del agua y la envía a los pisos superiores. La presión resultante depende del:

- caudal demandado,
- altura manométrica,
- pérdidas de carga en tuberías.

##### d) Estabilización mediante el estanque hidroneumático

El estanque:

- absorbe picos de presión,
- reduce la necesidad de arranques frecuentes,
- mantiene la presión estable aun cuando momentáneamente no opere la bomba.

##### e) Alternancia automática de bombas

El proceso actual consiste en:

- La bomba que se elige para operar permanece en servicio durante un período especificado.
- Una vez que se alcanza el nivel de gestión o mantenimiento, se realiza un cambio manual a la siguiente unidad.

- La bomba que estaba en operación se detiene hasta su próximo turno de operación.

Aunque esta opción permite una distribución parcial de las horas de trabajo entre los equipos, tiene limitaciones porque no hay un control sistemático sobre las horas acumuladas, el historial de operación y la condición individual de cada bomba.

#### g) Protección del sistema

El funcionamiento también considera elementos de seguridad, tales como:

- válvulas de retención en descarga.
- válvulas de aislamiento.
- manómetros.
- sistemas de purga.
- alarmas por baja o alta presión.

## **5. Introducción a la ISO 55001**

La gestión saludable y eficiente de los activos físicos es ahora un imperativo estratégico para las organizaciones públicas y privadas que necesitan tener equipos e infraestructuras disponibles, fiables y continuas. ISO 55001 es una norma internacional publicada por la Organización Internacional de Normalización (ISO) en 2014 que establece los requisitos para adoptar un Sistema de Gestión de Activos (AMS) basado en un enfoque sistemático y orientado al ciclo de vida de los activos. ISO 55001 es un enfoque que permite a las organizaciones identificar, gestionar y controlar sus activos de manera que satisfaga las necesidades de la organización y, lo más importante, minimizar los riesgos de deterioro, fallos imprevistos o decisiones reactivas. Como tal, el proceso de toma de decisiones de adquisición, operación, mantenimiento, renovación o disposición de activos se centra en criterios técnicos, económicos y de riesgo para que se cree valor a lo largo del ciclo de vida.

La norma también fomenta el pensamiento basado en el riesgo, la alineación estratégica, la transparencia de la información, la toma de decisiones basada en datos, la mejora continua y la optimización del costo del ciclo de vida (LCC). Integra a las partes interesadas para reunir cuestiones técnicas, administrativas y financieras.

En la infraestructura hidráulica y los sistemas de bombeo, la ISO 55001 es particularmente importante ya que estos son activos críticos que se operan constantemente y son muy exigentes en cuanto a mantenimiento y sensibles al desgaste debido a la operación continua. Una buena gestión puede reducir fallos no planificados, aumentar la eficiencia energética, reducir los costos operativos y asegurar la continuidad del servicio, especialmente en edificios de gran altura donde el agua es el recurso principal.

Dentro de este proyecto, la ISO 55001 sirve como guía para evaluar el estado actual de las electrobombas del edificio, determinar la criticidad del sistema de bombeo, planificar el reemplazo parcial de equipos y establecer un plan estructurado de

mantenimiento preventivo y gestión de repuestos. De este modo, la implementación de sus principios permite transformar una gestión reactiva basada en correcciones de emergencia, en una gestión estratégica basada en riesgo, desempeño y valor a largo plazo.

### **5.1. Relación con la gestión de activos (ISO 55001)**

La sala de bombas es un activo crítico ya que su uso es fundamental para la habitabilidad del edificio. La norma ISO 55001 establece que activos como estos deben ser gestionados considerando:

- Ciclo De Vida.
- Riesgos
- Criticidad.
- Costos Operativos.
- Mantenimiento Preventivo.
- renovación estratégica para el sistema.

El proyecto de reemplazo de bombas y optimización del sistema se guía por estas directrices.

### **5.2. Análisis de causa raíz**

El análisis de causa raíz (RCA) es una metodología utilizada para identificar las causas de una falla o desviación operativa, de modo que se puedan definir medidas que eviten su repetición.

En el mantenimiento industrial, esta herramienta permite un plan preventivo más sólido, centrándose en las condiciones que afectan el funcionamiento del equipo. Las fallas suelen ser impulsadas por diversos factores técnicos, operativos y de gestión, como el desgaste de componentes, desalineación, cavitación, falta de lubricación, horas de operación excesivas o ausencia de inspecciones periódicas.

En los sistemas de bombeo, el análisis de causa raíz se puede utilizar para reducir fallas repetitivas, disminuir costos correctivos y mejorar la confiabilidad y disponibilidad del equipo. Es esencial en una sala de bombas de agua potable porque una falla puede afectar la continuidad del suministro y el funcionamiento normal del edificio.

El RCA nos permite definir acciones de mantenimiento preventivo, priorizar intervenciones y establecer criterios técnicos para la reparación, renovación o reemplazo de activos según su condición operativa.

5.2.1. Objetivos del análisis de causa raíz

El análisis causa raíz tiene como principales objetivos:

- Identificar la causa principal de una falla o problema operacional.
- Evitar la repetición de fallas similares.
- Reducir los costos asociados a mantenimiento correctivo.
- Apoyar la toma de decisiones técnicas y económicas.

Dentro de las herramientas más utilizadas para realizar un análisis causa raíz se encuentran el diagrama de Ishikawa y la técnica de los 5 porqués.

- Fortalecer los planes de mantenimiento preventivo y predictivo.
- Generar información útil para la gestión del ciclo de vida del activo.
- Herramientas utilizadas en el análisis causa raíz
- Mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos.

5.2.2. Diagrama de Ishikawa

El diagrama de Ishikawa, también llamado diagrama de causa-efecto o espina de pescado, permite ordenar gráficamente las posibles causas de un problema. Esta herramienta clasifica las causas en categorías, lo que facilita analizar el problema desde distintas perspectivas.

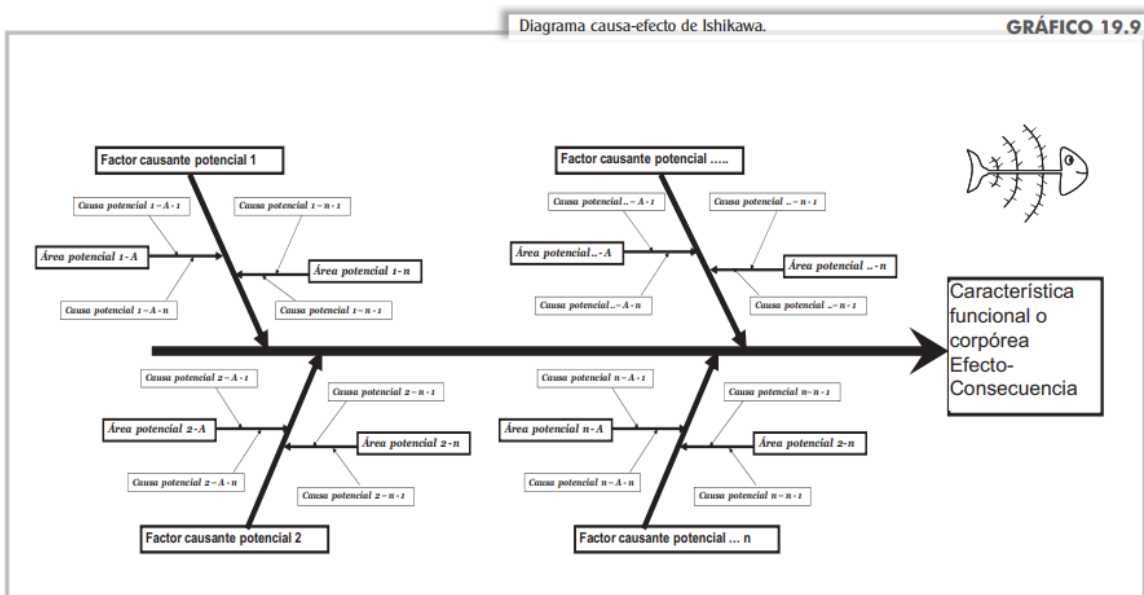


Figura 6. Diagrama causa-efecto de Ishikawa. Fuente: Mora Gutiérrez (2009), Mantenimiento: planeación, ejecución y control. Alfaomega.

En mantenimiento industrial, las categorías más utilizadas son:

| Categoría      | Descripción                                                                                |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Máquina        | Relacionada con el estado físico del equipo, desgaste, fallas mecánicas o eléctricas.      |
| Método         | Asociada a procedimientos de operación, mantenimiento o inspección.                        |
| Mano de obra   | Relacionada con capacitación, errores humanos o falta de supervisión.                      |
| Materiales     | Vinculada a repuestos, lubricantes, componentes o materiales utilizados.                   |
| Medición       | Asociada a la falta de registros, instrumentos, indicadores o monitoreo.                   |
| Medio ambiente | Relacionada con condiciones externas como humedad, temperatura, corrosión o contaminación. |

Esta herramienta permite visualizar de forma ordenada los factores que pueden estar influyendo en una falla, evitando concentrarse únicamente en el daño visible del equipo.

5.2.3. Técnica de los 5 porqués

La técnica de los 5 porqués consiste en preguntar sucesivamente “¿por qué?” frente a un problema determinado hasta llegar a la causa de fondo. No necesariamente deben formularse exactamente cinco preguntas, pero su finalidad es profundizar desde el síntoma inicial hasta la causa raíz.

Por ejemplo:

| Pregunta                                       | Respuesta                                                                                    |
|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| ¿Por qué falló la bomba?                       | Porque presentó desgaste mecánico interno.                                                   |
| ¿Por qué presentó desgaste mecánico?           | Porque operó durante muchos años sin una renovación programada.                              |
| ¿Por qué no fue renovada oportunamente?        | Porque no existía una planificación del ciclo de vida del activo.                            |
| ¿Por qué no existía esa planificación?         | Porque la mantención era principalmente correctiva.                                          |
| ¿Por qué predominaba la mantención correctiva? | Porque no existía un sistema formal de gestión de activos ni registros técnicos suficientes. |

¿Por qué predominaba la mantención correctiva?

Porque no existía un sistema formal de gestión de activos ni registros técnicos suficientes.

De esta forma, la causa raíz no se limita al desgaste de la bomba, sino que puede estar asociada a una deficiencia de planificación, control y gestión del mantenimiento.

#### **5.2.4. Importancia del análisis de causa raíz en sistemas de bombeo**

En sistemas de bombeo, el análisis causa raíz permite identificar factores que afectan la eficiencia, confiabilidad y vida útil de los equipos. Las bombas centrífugas pueden presentar fallas por múltiples razones, tales como cavitación, desalineación, desgaste de rodamientos, fallas en sellos mecánicos, obstrucción de válvulas, vibraciones excesivas, sobrecarga eléctrica o deficiencias en la operación.

Cuando estas fallas se atienden solo de manera correctiva, el problema puede repetirse y generar mayores costos de reparación, pérdida de eficiencia hidráulica y reducción de la disponibilidad del sistema. Por ello, el análisis causa raíz permite definir acciones de mejora más efectivas, como ajustar frecuencias de mantenimiento, mejorar la alineación de los equipos, controlar vibraciones, revisar presiones de succión y descarga, renovar componentes críticos o reemplazar equipos que han superado su vida útil.

En el caso de una sala de bombas de agua potable, esta metodología es fundamental, ya que el sistema cumple una función crítica para el edificio. Una falla en las electrobombas puede provocar baja presión, interrupción del suministro, aumento de reclamos de los residentes y mayores costos de emergencia. Por esta razón, el análisis causa raíz se convierte en una herramienta de apoyo para justificar técnicamente un plan de mantenimiento preventivo y una estrategia de renovación de activos.

#### **5.2.5. Relación con el mantenimiento preventivo**

El análisis de causa raíz se relaciona directamente con el mantenimiento preventivo porque permite definir tareas y frecuencias orientadas a evitar la repetición de fallas. Mientras el mantenimiento correctivo repara o reemplaza el componente dañado después de una falla, el análisis de causa raíz identifica las condiciones que la originan, como la desalineación, la lubricación deficiente, las vibraciones anormales o el desgaste. Con esta información, el plan preventivo puede incorporar inspecciones de vibración, controles de temperatura de rodamientos, verificaciones de alineación y revisión de sellos mecánicos. De este modo, se reducen las fallas repetitivas y se mejora la fiabilidad del sistema de bombeo.

#### **5.2.6. Relación con ISO 55001**

ISO 55001 promueve la gestión de activos basada en el ciclo de vida, el análisis de riesgos, la mejora continua y la toma de decisiones sustentada en información técnica.

La incorporación del análisis de causa raíz permite identificar tendencias de falla, generar historial técnico, establecer indicadores de desempeño y justificar inversiones en mantenimiento y reemplazo de equipos. Esta herramienta es especialmente relevante cuando el equipo envejece, el costo correctivo es alto o la fiabilidad operacional se ve comprometida.

**CAPÍTULO III**  
**SITUACIÓN ACTUAL DE LA SALA DE BOMBAS**

**1.1. Caracterización general de la sala de bombas**

El suministro de agua del Edificio Dalcahue III se basa en una sala de bombas ubicada en el segundo nivel subterráneo del edificio. La función principal es elevar y mantener la presión del agua para abastecer los catorce pisos residenciales y aproximadamente cien apartamentos en el edificio. El conjunto de bombeo consta de bombas eléctricas centrífugas, tuberías de succión y descarga, válvulas de cierre, válvulas de retención, conexiones hidráulicas, componentes eléctricos y un sistema de control para la operación del equipo. Las bombas eléctricas están diseñadas para superar la geometría del edificio, la pérdida de carga de las tuberías y accesorios y la presión residual del edificio en los puntos de consumo más desfavorables. Según los antecedentes recopilados durante la visita técnica, el sistema fue diseñado originalmente con cuatro bombas eléctricas centrífugas de doble impulsor. La referencia técnica utilizada en el análisis es el modelo Pedrollo 2CP 40/180B, una bomba trifásica de 5,5 kW o 7,5 HP, para aplicaciones de bombeo de agua limpia y aumento de presión. Este equipo está equipado con dos impulsores de latón, un sello mecánico FN-24, un eje de acero inoxidable y rodamientos 6306 ZZ-C3 y 6206 ZZ-C3, y estas son partes importantes que deben ser monitoreadas para asegurar la fiabilidad de la bomba. Al ser examinada, una de las bombas eléctricas no estaba funcionando y la de respaldo no estaba disponible. También se encontró equipo con más de 26 años de antigüedad y es muy probable que tenga desgaste en los componentes mecánicos (por ejemplo, envejecimiento del sello, desgaste del impulsor, fallos en los rodamientos, reducción de la eficiencia hidráulica y fallos correctivos). El sistema ha operado con alternancia manual y con un nivel limitado de automatización. Esta condición no produce la misma distribución de horas de operación de las bombas, lo que puede llevar a un mayor desgaste de algunas unidades que de otras. Por lo tanto, se propone una lógica de alternancia automática basada en las horas de operación acumuladas y la demanda de presión del sistema.

**Tabla 3.1. Caracterización general del sistema de bombeo**

| Elemento                       | Descripción                                                                           |
|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Ubicación de la sala de bombas | Segundo nivel subterráneo del edificio                                                |
| Servicio principal             | Abastecimiento de agua potable a departamentos y áreas comunes                        |
| Altura del edificio            | Catorce pisos habitacionales                                                          |
| Departamentos abastecidos      | Cien departamentos                                                                    |
| Número original de bombas      | Cuatro electrobombas                                                                  |
| Situación actual               | Una bomba fuera de servicio y tres unidades disponibles, sujetas a evaluación técnica |
| Tipo de bomba de referencia    | Electrobomba centrífuga de doble rodete Pedrollo 2CP 40/180B                          |
| Potencia de referencia         | 5,5 kW / 7,5 HP                                                                       |

| Elemento                    | Descripción                                                                               |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tipo de control actual      | Alternancia manual.                                                                       |
| Condición general observada | Equipos envejecidos, reducción de redundancia y ausencia de registros históricos formales |

*Tabla 3.1. Caracterización general del sistema de bombeo, Fuente: Elaboración propia con información proporcionada del comité del edificio.*

De la descripción anterior se concluye que el sistema es crítico para la habitabilidad del edificio. Si falla el conjunto de bombeo o las unidades disponibles, se compromete el suministro de agua potable de todo el edificio. Por ello, las electrobombas deben considerarse activos esenciales para la gestión de mantenimiento.

**2. Situación documental y gestión actual del mantenimiento**

Durante la visita técnica y la revisión de antecedentes de la sala de bombas del Edificio Dalcahue III, se constató que no existe un sistema formal, completo y sistematizado de registro de mantenimiento para las electrobombas y otros equipos hidráulicos. La información disponible no permite estimar las fechas de las intervenciones, las horas de operación acumuladas, los tiempos de reparación, las causas de las fallas, los repuestos utilizados ni las personas responsables de las actividades realizadas. Tampoco hay un historial técnico disponible para identificar el número de fallas que cada bomba eléctrica ha tenido durante su vida útil. Esto hace imposible calcular indicadores básicos de gestión de mantenimiento.

En las electrobombas, los indicadores más relevantes son el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) y el Tiempo Medio de Reparación (MTTR).

El MTBF permite estimar el tiempo promedio de operación entre eventos de falla, y el MTTR el tiempo promedio para restaurar el equipo a condiciones de funcionamiento.

La ausencia de información histórica impide un análisis cuantitativo de la fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad del sistema de bombeo.

También dificulta estimar el costo del mantenimiento correctivo, evaluar el rendimiento de cada bomba individualmente y justificar decisiones de reemplazo con información histórica rastreable. En el caso de las partes no reparables del equipo (por ejemplo, sellos mecánicos, empaques, juntas y otros componentes de desgaste), no hay antecedentes para predecir el MTTF.

La ausencia de registros formales muestra que la gestión es predominantemente reactiva, y las intervenciones se realizan principalmente en respuesta a una falla visible, pérdida de presión, fuga, ruido anormal o parada del equipo.

Esta forma de abordar las fallas inesperadas dificulta la planificación de recursos y reduce la capacidad de anticipar el deterioro de los componentes.

Tabla 3.2. Brechas de información detectadas en la gestión de mantenimiento

| Información requerida        | Situación actual                        | Consecuencia técnica                                                    |
|------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Horas de operación por bomba | No existe registro sistematizado        | No es posible evaluar la distribución de carga ni el desgaste acumulado |
| Fallas ocurridas             | Información parcial o no documentada    | No es posible calcular MTBF                                             |
| Tiempos de reparación        | No existe registro formal               | No es posible calcular MTTR                                             |
| Repuestos utilizados         | Sin trazabilidad histórica              | Dificulta definir stock de repuestos críticos                           |
| Actividades preventivas      | No existe plan documentado              | Predomina el mantenimiento reactivo                                     |
| Costos de mantenimiento      | Sin consolidación técnica               | No es posible estimar costo histórico de fallas                         |
| Condición de equipos         | Sin inspecciones periódicas registradas | Se limita la detección temprana de degradación                          |

*Tabla 3.2 Brechas de información detectadas en la gestión de mantenimiento. Fuente: Elaboración propia, a partir de visita técnica y antecedentes de la Comunidad Edificio Dalcahue III.*

En síntesis, la falta de datos históricos obliga a que el diagnóstico inicial se realice con evidencia cualitativa, como la condición física observable, la antigüedad de los activos, los equipos fuera de servicio, las entrevistas con la administración y la documentación disponible. Esta situación justifica implementar un sistema de registro que permita calcular indicadores de mantenimiento y tomar decisiones basadas en datos en el futuro.

El certificado de visita técnica y los antecedentes de mantenimiento que respaldan la ausencia de registros históricos formalizados se incluyen en el Anexo A.

**3. Diagnóstico de obsolescencia de las electrobombas**

La obsolescencia de un activo significa que el equipo está perdiendo gradualmente la capacidad de realizar la función para la cual fue diseñado.

Esto podría estar relacionado con la edad, el desgaste físico, la pérdida de eficiencia, la falta de repuestos, el aumento del costo de reparación, los cambios tecnológicos o la falta de adaptación a las necesidades del entorno actual.

En esta situación se considera la antigüedad superior a 26 años de las electrobombas. La antigüedad, por sí sola, no justifica el reemplazo, pero incrementa la probabilidad de desgaste de componentes internos, fatiga mecánica, degradación de materiales, pérdida de desempeño hidráulico y falla funcional.

La situación se agrava porque una de las bombas ya se encuentra fuera de servicio. El sistema cuenta con una capacidad de respaldo limitada y depende de menos equipos antiguos. En un sistema de suministro de agua potable, esto puede traducirse en una menor capacidad para responder ante fallas imprevistas, tareas correctivas o aumentos repentinos de demanda.

La falta de alternancia automática basada en las horas acumuladas puede hacer que una bomba trabaje más que otra, distribuyendo de forma desigual el desgaste y reduciendo la vida útil disponible. Además, la falta de registros de fallas y reparaciones dificulta establecer una tendencia de deterioro y determinar el momento adecuado para reemplazar los equipos.

**Tabla 3.3. Indicadores cualitativos de obsolescencia identificados**

| Indicador                  | Situación observada                                | Implicancia                                                      |
|----------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Antigüedad de los equipos  | Superior a 26 años                                 | Mayor probabilidad de desgaste y disminución de confiabilidad    |
| Estado de disponibilidad   | Una electrobomba fuera de servicio                 | Pérdida de redundancia operacional                               |
| Historial de mantenimiento | No existe registro formal                          | Imposibilidad de evaluar fallas recurrentes y costos             |
| Sistema de alternancia     | Manual o limitado                                  | Riesgo de distribución desigual de horas de operación            |
| Condición de componentes   | Riesgo de desgaste en rodets, sellos y rodamientos | Pérdida de caudal, presión, eficiencia y continuidad operacional |
| Gestión de repuestos       | Sin trazabilidad formal                            | Mayor tiempo potencial de reparación ante una falla              |

*Tabla 3.3 Indicadores cualitativos de obsolescencia identificados.  
Fuente: Elaboración propia, a partir de visita técnica y antecedentes de la Comunidad Edificio Dalcahue III.*

El diagnóstico muestra que la situación no corresponde a una falla aislada de una bomba. La condición actual responde al deterioro acumulado de los activos, la antigüedad de los equipos, la reducción de la disponibilidad y la ausencia de un mantenimiento preventivo estructurado, junto con la falta de una estrategia formal de gestión del ciclo de vida.

La solución técnica no debe ser solo reparar el equipo fuera de servicio. Una intervención también debe tener en cuenta el reemplazo parcial de las unidades más deterioradas, la recuperación de la redundancia, la automatización de la alternancia, la recopilación de información técnica y la implementación de un plan de mantenimiento preventivo.

**4. Análisis de causas mediante diagrama de Ishikawa**

Con el propósito de identificar las causas que contribuyen al deterioro del sistema de bombeo, se aplicó el diagrama de Ishikawa o diagrama causa-efecto. Esta herramienta permite clasificar las causas potenciales de un problema y visualizar la relación entre factores técnicos, operacionales, administrativos y de mantenimiento. Para el presente análisis se definió como efecto principal: Falla y deterioro progresivo del sistema de electrobombas que abastece la red de agua potable del Edificio Dalcahue III.

Las causas fueron agrupadas en seis categorías: equipo y diseño, operación, mantenimiento, materiales y repuestos, entorno de trabajo y gestión de activos.

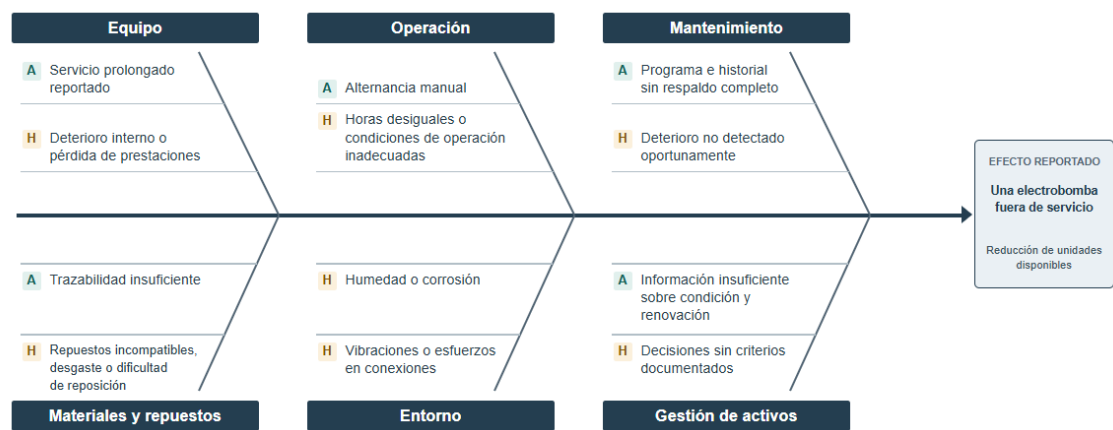


Figura 3.1. Diagrama de Ishikawa aplicado al deterioro del sistema de electrobombas. Fuente: Elaboración propia, basada en Mora Gutiérrez (2009).

Tabla 3.4. Causas identificadas mediante análisis de Ishikawa

| Categoría              | Antecedentes e hipótesis                                                                         | Verificación requerida                                                                                       |
|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Equipo                 | A: servicio prolongado y una unidad detenida.<br>H: deterioro interno o pérdida de prestaciones. | Identificar placas y antecedentes de instalación. Inspeccionar la unidad detenida y evaluar las disponibles. |
| Operación              | A: alternancia manual.<br>H: reparto desigual de horas o exigencia superior a la capacidad.      | Registrar horas por unidad y reconstruir turnos. Contrastar presión, caudal y demanda.                       |
| Mantenimiento          | A: programa e historial incompletamente disponibles.<br>H: deterioro no detectado oportunamente. | Revisar órdenes, comprobantes e informes. Identificar tareas ejecutadas, responsables y resultados.          |
| Materiales y repuestos | A: trazabilidad insuficiente.<br>H: incompatibilidad, desgaste o dificultades de reposición.     | Identificar componentes, antecedentes de cambio y disponibilidad real de repuestos.                          |
| Entorno                | H: humedad, corrosión, vibraciones o esfuerzos en conexiones. Su magnitud no está documentada.   | Registrar ambiente, bases y tuberías. Inspeccionar corrosión y medir vibración cuando corresponda.           |

|                    |                                                                                                     |                                                                                                   |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gestión de activos | A: información insuficiente de condición y renovación.<br>H: decisiones sin criterios documentados. | Revisar procedimientos, responsabilidades, presupuesto y criterios de mantenimiento y renovación. |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|

*Tabla 3.4. Causas identificadas mediante análisis de Ishikawa.  
Fuente: Elaboración propia, a partir de visita técnica y antecedentes de la Comunidad Edificio Dalcahue III.*

La condición actual del sistema no se explica solo por la antigüedad de las bombas. La falla y el deterioro responden a factores mecánicos, hidráulicos, operativos y de gestión.

En particular, la falta de mantenimiento planificado, de información histórica y la disminución de la fiabilidad contribuyen al deterioro del sistema.

Por lo tanto, el simple reemplazo de una bomba no abordaría la causa del problema. La propuesta debe incorporar control, registro, alternancia, monitoreo y mantenimiento preventivo.

**5. Análisis de causa raíz mediante la metodología de los 5 porqués**

Con base en las causas identificadas en el diagrama de Ishikawa, se utilizó la metodología de los 5 porqués para profundizar en el origen de la falla funcional de una electrobomba y determinar la causa raíz asociada a la gestión de activos.

El problema fue la pérdida de disponibilidad de una bomba eléctrica en el sistema de suministro de agua potable del edificio.

| N.º | Pregunta                                                              | Respuesta                                                                                                                                  |
|-----|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | ¿Por qué una electrobomba quedó fuera de servicio?                    | Porque presentó una condición de deterioro mecánico que impidió mantener su funcionamiento normal.                                         |
| 2   | ¿Por qué se produjo el deterioro mecánico?                            | Porque el equipo operó durante un periodo prolongado y sus componentes internos estuvieron expuestos a desgaste acumulado.                 |
| 3   | ¿Por qué el equipo continuó operando pese a su antigüedad y desgaste? | Porque no se realizó un reemplazo oportuno ni se aplicó una evaluación periódica de condición y obsolescencia.                             |
| 4   | ¿Por qué no se realizó una evaluación formal de reemplazo?            | Porque no existía un sistema estructurado de mantenimiento con registros de fallas, horas de operación, costos y condición de los equipos. |
| 5   | ¿Por qué no existía un sistema estructurado de mantenimiento?         | Porque no se aplicaba una metodología formal de gestión del ciclo de vida y criticidad de los activos de la sala de bombas.                |

Tabla 3.5. Aplicación de la metodología de los 5 Porqués. Fuente: Elaboración propia, a partir de visita técnica y antecedentes de la Comunidad Edificio Dalcahue III.

De este análisis se concluye que la causa raíz no corresponde solo al desgaste mecánico de una bomba.

Es la falta de un sistema estructurado de gestión del ciclo de vida de los activos, lo que permitió que el equipo continuara operando sin un plan de mantenimiento, evaluación de criticidad, monitoreo de condiciones o renovación programada.

Este hallazgo es crítico para el trabajo, ya que la solución no debe limitarse a una respuesta reactiva.

La propuesta debe abordar tanto la condición física de las bombas eléctricas como la forma en que se gestionará el sistema en el futuro.

6. Análisis de criticidad del sistema de bombeo

El análisis de criticidad permite establecer la prioridad de intervención de un activo según las consecuencias asociadas a su falla y la probabilidad de que dicha falla ocurra. En este caso, el sistema de bombeo es considerado crítico debido a que su función está directamente relacionada con la continuidad del suministro de agua potable del edificio.

Para el presente análisis se utilizó la siguiente expresión:

Criticidad = Consecuencia × Probabilidad de falla

La consecuencia se evaluó considerando los efectos operacionales, sanitarios, económicos y de servicio. Por su parte, la probabilidad de falla se evaluó considerando antigüedad, condición observable, existencia de fallas previas y estado de la gestión de mantenimiento.

Tabla 3.6. Escala de consecuencias

| Valor | Nivel          | Descripción                                                                             |
|-------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | Insignificante | No afecta el servicio ni requiere intervención relevante                                |
| 2     | Bajo           | Genera una alteración menor y recuperable rápidamente                                   |
| 3     | Moderado       | Produce una disminución parcial del desempeño del sistema                               |
| 4     | Alto           | Afecta la continuidad operacional y requiere intervención prioritaria                   |
| 5     | Crítico        | Puede provocar interrupción significativa del servicio o pérdida de función del sistema |

Tabla 3.7. Evaluación de consecuencias del sistema de bombeo

| Factor evaluado          | Valor | Justificación                                                                                                   |
|--------------------------|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Consecuencia operacional | 5     | La falla simultánea de las unidades disponibles puede impedir el abastecimiento de agua potable                 |
| Consecuencia sanitaria   | 3     | La pérdida prolongada de suministro puede afectar condiciones básicas de higiene y habitabilidad                |
| Consecuencia económica   | 4     | Las fallas imprevistas pueden generar reparaciones de emergencia, compra urgente de repuestos y daños asociados |
| Consecuencia de servicio | 5     | El sistema abastece a catorce pisos y aproximadamente cien departamentos                                        |

| Factor evaluado          | Valor | Justificación                       |
|--------------------------|-------|-------------------------------------|
| Promedio de consecuencia | 4,25  | Se clasifica como consecuencia alta |

Tabla 3.8. Escala de probabilidad de falla

| Valor | Nivel    | Descripción                                                              |
|-------|----------|--------------------------------------------------------------------------|
| 1     | Rara     | Falla poco probable en condiciones normales                              |
| 2     | Baja     | Puede ocurrir de forma aislada                                           |
| 3     | Media    | Existe evidencia de deterioro o eventos ocasionales                      |
| 4     | Alta     | Existen condiciones que favorecen la falla                               |
| 5     | Muy alta | Hay fallas previas, desgaste evidente o pérdida de capacidad operacional |

Tabla 3.9. Evaluación de probabilidad de falla

| Factor evaluado           | Valor | Justificación                                                       |
|---------------------------|-------|---------------------------------------------------------------------|
| Antigüedad de los equipos | 5     | Equipos con más de 26 años de operación                             |
| Condición general         | 4     | Riesgo de desgaste acumulado en componentes mecánicos e hidráulicos |
| Fallas previas            | 5     | Una electrobomba se encuentra fuera de servicio                     |
| Gestión de mantenimiento  | 4     | No existen registros formales, indicadores ni plan documentado      |
| Promedio de probabilidad  | 4,50  | Se clasifica como probabilidad muy alta                             |

Con los resultados anteriores se obtiene:

$$\text{Criticidad} = 4 \times 5 = 20$$

Tabla 3.10. Clasificación de criticidad

| Rango   | Nivel de criticidad | Acción requerida                              |
|---------|---------------------|-----------------------------------------------|
| 1 a 5   | Bajo                | Control rutinario                             |
| 6 a 10  | Medio               | Seguimiento programado                        |
| 11 a 15 | Alto                | Intervención prioritaria                      |
| 16 a 25 | Crítico             | Acción inmediata o plan de mitigación urgente |

Según el resultado obtenido, el sistema de bombeo alcanza un nivel de criticidad de 20, por lo que se clasifica como un activo crítico. Este resultado justifica técnicamente la necesidad de restaurar la disponibilidad del sistema, reemplazar las unidades más deterioradas, restablecer una condición de respaldo adecuada y aplicar un programa de mantenimiento preventivo.

### 7. Análisis de modos y efectos de falla del sistema de bombeo mediante FMEA

El Análisis de Modos y Efectos de Fallo (FMEA) se utiliza para caracterizar los modos de fallo de un sistema, sus causas, efectos y medidas de control.

Para priorizar el riesgo, se utiliza el Número de Prioridad de Riesgo (RPN), que se calcula como  $RPN = S \times O \times D$ , donde S es la gravedad del efecto de la falla, O es la

probabilidad de falla y D corresponde a la detección, es decir, a la dificultad de identificar la falla antes de que provoque consecuencias.

En este análisis, hemos adoptado los siguientes criterios de prioridad:

Tabla 3.11. Criterios de prioridad del RPN

| Rango de RPN        | Nivel de prioridad |
|---------------------|--------------------|
| Menor a 100         | Bajo               |
| 100 a 199           | Medio              |
| 200 a 299           | Alto               |
| Igual o mayor a 300 | Crítico            |

Los valores asignados son el resultado de una evaluación técnico-cualitativa de la situación y sus antecedentes, del análisis de criticidad y de la ausencia de registros históricos. Estos valores deben revisarse y actualizarse cuando el edificio cuente con información sobre fallas, tiempos de reparación, inspecciones y horas de operación.

Tabla 3.12. FMEA del sistema de bombeo de agua potable

| Componente o sistema      | Modo de falla                                             | Causas potenciales                                                                      | Efectos potenciales                                                  | S  | O | D | RPN | Prioridad | Acción recomendada                                                                           |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----|---|---|-----|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Electrobomba              | Falla total de la bomba                                   | Obsolescencia, desgaste interno, antigüedad y pérdida de condición                      | Pérdida de capacidad de impulsión y reducción de disponibilidad      | 10 | 8 | 5 | 400 | Crítico   | Reemplazar las unidades más deterioradas y validar la selección hidráulica                   |
| Gestión de mantenimiento  | Falta de registros técnicos                               | Ausencia de historial, órdenes de trabajo e indicadores                                 | No se puede calcular MTBF, MTTR, disponibilidad ni costos históricos | 8  | 7 | 7 | 392 | Crítico   | Implementar ficha de activo, registro de fallas, horómetros e historial de mantenimiento     |
| Sistema hidráulico        | Baja presión en la red                                    | Desgaste de bombas, pérdidas de carga, válvulas defectuosas o baja capacidad disponible | Abastecimiento insuficiente en pisos superiores                      | 10 | 7 | 5 | 350 | Crítico   | Medir presión y caudal; verificar HMT; evaluar condición de válvulas y bombas                |
| Rodetes                   | Desgaste, erosión o pérdida de rendimiento                | Antigüedad, partículas, cavitación o deterioro hidráulico                               | Disminución de caudal y presión de descarga                          | 8  | 7 | 6 | 336 | Crítico   | Inspección interna, control de cavitación y reemplazo de unidad si corresponde               |
| Configuración del sistema | Pérdida de redundancia                                    | Una bomba fuera de servicio y unidades antiguas                                         | Menor capacidad de respuesta ante una nueva falla                    | 10 | 8 | 4 | 320 | Crítico   | Recuperar cuatro unidades disponibles mediante reemplazo por etapas y alternancia automática |
| Rodamientos               | Ruido, vibración, aumento de temperatura o agarrotamiento | Fatiga, desalineación, contaminación o desgaste                                         | Detención de bomba y daño progresivo del conjunto rotativo           | 9  | 7 | 5 | 315 | Crítico   | Inspección periódica, monitoreo de vibración y control de temperatura                        |
| Eje                       | Desalineación o deformación                               | Vibración, desgaste, esfuerzos mecánicos o montaje inadecuado                           | Daño de sello, rodamientos y pérdida de rendimiento                  | 8  | 5 | 6 | 240 | Alto      | Verificar alineación, base, anclajes y condición de acoplamiento                             |
| Válvula de retención      | No cierre o retorno de flujo                              | Desgaste, suciedad, corrosión o falla interna                                           | Golpes de ariete, retorno de agua o pérdida de presión               | 8  | 6 | 5 | 240 | Alto      | Inspección, limpieza, prueba funcional y reemplazo cuando corresponda                        |
| Tuberías                  | Corrosión, incrustación o reducción de sección            | Envejecimiento, humedad, calidad del agua y falta de inspección                         | Aumento de pérdidas de carga y disminución de caudal                 | 8  | 5 | 6 | 240 | Alto      | Inspección visual, verificación de fugas y evaluación de condición                           |
| Cuerpo de bomba           | Corrosión, fisura o pérdida de estanqueidad               | Envejecimiento, vibración, presión y deterioro de material                              | Fugas, pérdida de presión y riesgo de daño secundario                | 8  | 5 | 5 | 200 | Alto      | Inspección visual, pruebas de estanqueidad y evaluación de reemplazo                         |
| Sello mecánico            | Fuga por desgaste o falla de caras                        | Antigüedad, desalineación, funcionamiento anormal o contaminación                       | Pérdida de agua y posible daño de rodamientos                        | 7  | 7 | 4 | 196 | Medio     | Inspección de fugas, stock de sellos FN-24 y cambio preventivo según condición               |
| Estanque hidroneumático   | Pérdida de aire o falla de membrana                       | Falta de control de precarga y envejecimiento                                           | Mayor frecuencia de arranques y variación de presión                 | 8  | 6 | 4 | 192 | Medio     | Revisar presión de precarga, membrana y frecuencia de arranque                               |
| Válvula de corte          | Bloqueo, fuga o apertura incompleta                       | Corrosión, falta de uso o desgaste                                                      | Dificultad de aislamiento y mantención de equipos                    | 7  | 5 | 5 | 175 | Medio     | Accionamiento periódico, lubricación e inspección funcional                                  |
| Base y anclajes           | Aflojamiento o vibración excesiva                         | Fatiga, falta de nivelación o deterioro de anclajes                                     | Daño progresivo de bombas, tuberías y sellos                         | 7  | 5 | 5 | 175 | Medio     | Revisar anclajes, nivelación, rigidez de base y soportes de tuberías                         |
| Uniones y bridas          | Fugas en conexiones                                       | Empaquetaduras envejecidas, vibración o apriete deficiente                              | Pérdidas de agua y disminución de presión                            | 6  | 6 | 3 | 108 | Medio     | Inspección de fugas, reemplazo de empaquetaduras y apriete controlado                        |

Los valores asignados corresponden a una evaluación técnico-cualitativa basada en los antecedentes disponibles, la condición observada, el análisis de criticidad y la ausencia de registros históricos. Deben verificarse y actualizarse cuando el edificio cuente con información sobre fallas, tiempos de reparación, inspecciones y horas de operación.

*Tabla 3.12. FMEA del sistema de bombeo de agua potable. Fuente: Elaboración propia.*

Los resultados del FMEA muestran que los riesgos de mayor prioridad son la falla total de las electrobombas por obsolescencia, la falta de registros de mantenimiento técnico, la baja presión de la red, el desgaste del impulsor, la pérdida de redundancia y la falla de los rodamientos.

La falla total de una electrobomba presenta el RPN más alto, con un valor de 400. Esto indica que el reemplazo de las unidades más deterioradas debe constituir la primera prioridad.

Mientras tanto, el segundo riesgo más alto es la ausencia de información histórica de mantenimiento con un RPN de 392. Este resultado indica que la solución no solo necesitará la renovación de activos, sino también herramientas de control y trazabilidad.

**8. Síntesis del diagnóstico técnico**

El diagnóstico técnico permitió establecer que el sistema de bombeo de agua del Edificio Dalcahue III es crítico. La antigüedad de las electrobombas se suma a factores mecánicos, operativos y administrativos que afectan el desempeño del sistema.

La primera evaluación mostró que el sistema abastece catorce pisos y alrededor de cien departamentos, por lo que es esencial para la habitabilidad del edificio. La electrobomba fuera de servicio reduce la redundancia y aumenta la dependencia de las unidades restantes, que tienen una antigüedad cercana a 26 años.

El análisis documental mostró que no existen registros formales de horas de operación, fallas, tiempos de indisponibilidad, tiempos de reparación, repuestos utilizados ni actividades preventivas.

Por ello, no es posible calcular indicadores de desempeño como MTBF, MTTR, MTTF y disponibilidad. Esta brecha limita la toma de decisiones basada en datos y favorece una gestión de mantenimiento reactiva. El análisis de obsolescencia indica que el envejecimiento, el desgaste de los componentes internos, la falta de respaldo operativo y la ausencia de renovación planificada son factores relevantes.

Por otro lado, el diagrama de Ishikawa mostró que el deterioro del sistema está relacionado con el equipo, la operación, el mantenimiento, los materiales, el entorno y la gestión de activos.

Con base en la metodología de los 5 porqués, se identificó que el problema no corresponde solo al desgaste mecánico de una bomba, sino también a la falta de una gestión estructurada del ciclo de vida de los activos y del mantenimiento.

Esto permitió que el equipo operara durante mucho tiempo sin planificación de reemplazo, monitoreo del sistema, gestión de fallas o evaluación de criticidad.

El análisis de criticidad entregó un valor de 20, que clasifica al sistema como crítico.

El FMEA confirmó este hallazgo y destacó como riesgos prioritarios la falla total de las electrobombas, la falta de registros técnicos, la baja presión de la red, el desgaste del impulsor, la pérdida de redundancia y la falla de los rodamientos.

Así, la solución propuesta debe cubrir dos aspectos simultáneamente. El primero corresponde a la intervención técnica del sistema: el reemplazo parcial de las electrobombas más deterioradas, la recuperación de la redundancia, la revisión de los componentes hidráulicos y la automatización de la alternancia.

El segundo aspecto corresponde a la gestión de activos, mediante registros de equipos y fallas, control de horas de operación, órdenes de trabajo, indicadores de mantenimiento y un plan preventivo claramente definido. De esta manera, el diagnóstico proporciona la base técnica para el desarrollo del Capítulo IV, en el que se diseña la solución de mantenimiento, reemplazo y control operativo del sistema de bombeo.

**CAPÍTULO IV**  
**DISEÑO Y SOLUCIÓN**

**4.1. Objetivo del diseño de la solución**

El presente capítulo desarrolla una propuesta técnica para mejorar la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad del sistema de bombeo de agua potable del Edificio Dalcahue III. La solución se formula a partir de los resultados obtenidos en el diagnóstico técnico desarrollado en el Capítulo III, en el cual se identificaron condiciones de obsolescencia, pérdida de redundancia, falta de registros de mantenimiento, predominio de intervenciones correctivas y riesgos asociados al deterioro de las electrobombas.

La propuesta considera dos dimensiones complementarias. La primera corresponde a la intervención física del sistema, mediante el reemplazo parcial de las electrobombas de mayor deterioro, la revisión de válvulas y componentes hidráulicos, la recuperación de la capacidad de respaldo y la mejora del sistema de control. La segunda dimensión corresponde a la implementación de una gestión preventiva, basada en registros, inspecciones, control de horas de funcionamiento, repuestos críticos e indicadores de mantenimiento.

El objetivo final es disminuir la probabilidad de interrupciones no planificadas en el abastecimiento de agua potable, aumentar la trazabilidad de las intervenciones y establecer una base técnica para la renovación progresiva de los activos de la sala de bombas.

**II. Enfoque basado en riesgos**

La norma promueve la identificación, evaluación y tratamiento de riesgos. El sistema actual presenta:

- una bomba fuera de servicio.
- equipos con más de 26 años de operación (vida útil superada).
- pérdida de redundancia.
- válvulas obstruidas o con fallas.
- probabilidades elevadas de cavitación y sobrecalentamiento.

El proyecto reduce estos riesgos mediante la instalación de nuevas electrobombas, la renovación de válvulas y la implementación de un plan de mantenimiento preventivo, mitigando la probabilidad de fallas no programadas.

**4.2. Bases y criterios de diseño**

El diseño de solución se elaboró considerando las características generales del edificio, la configuración observada de la sala de bombas, las condiciones hidráulicas preliminares y los riesgos priorizados mediante FMEA.

**Tabla 4.1. Bases preliminares de diseño**

| Parámetro                      | Valor o criterio de diseño   |
|--------------------------------|------------------------------|
| Ubicación de la sala de bombas | Segundo nivel subterráneo    |
| Edificio abastecido            | Edificio Dalcahue III        |
| Altura del edificio            | Catorce pisos habitacionales |

| Parámetro                           | Valor o criterio de diseño                                         |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Departamentos abastecidos           | Aproximadamente cien                                               |
| Cota estimada de impulsión          | Desde nivel -2 hasta piso 14                                       |
| Altura geométrica estimada          | 38,4 m                                                             |
| Presión residual de diseño          | 15 m.c.a.                                                          |
| Pérdidas de carga estimadas         | 14,6 m.c.a.                                                        |
| Altura manométrica total preliminar | 68 m.c.a.                                                          |
| Caudal de diseño preliminar         | 180 L/min                                                          |
| Fluido impulsado                    | Agua limpia                                                        |
| Temperatura de referencia           | Aproximadamente 20 °C                                              |
| Configuración de solución inicial   | Reemplazo de dos electrobombas                                     |
| Estrategia operacional futura       | Alternancia automática por horas de operación y demanda de presión |

Los valores anteriores deben ser considerados como antecedentes preliminares de diseño. Antes de ejecutar la compra e instalación de equipos, será necesario confirmar los diámetros, longitudes, accesorios, pérdidas reales de carga, presión disponible en aspiración y caudal máximo probable del edificio.

**4.3. Cálculo preliminar de la altura manométrica total**

La selección de una electrobomba requiere definir la altura manométrica total que el sistema debe vencer. Esta corresponde a la suma de la altura geométrica, la presión residual requerida en el punto más desfavorable y las pérdidas de carga de la instalación.

$$HMT = H_g + H_p + H_f$$

Donde HMT corresponde a la altura manométrica total; H<sub>g</sub>, a la altura geométrica; H<sub>p</sub>, a la presión residual requerida; y H<sub>f</sub>, a las pérdidas de carga en tuberías, válvulas y accesorios.

**4.3.1 Altura geométrica**

La sala de bombas se encuentra en el nivel -2 y el punto de consumo más desfavorable corresponde al piso 14. Considerando una altura aproximada de 2,40 m por nivel y dieciséis intervalos verticales entre ambos puntos, se obtiene:

$$H_g = 16 \times 2,40$$
$$H_g = 38,4 \text{ m}$$

**4.3.2 Presión residual requerida**

Para asegurar una presión mínima de servicio en el punto más desfavorable de la red, se adopta preliminarmente una presión residual de:

$$H_p = 15 \text{ m.c.a.}$$

**4.3.3 Pérdidas de carga**

Para el análisis preliminar se considera una pérdida de carga estimada de 14,6 m.c.a. Este valor deberá ser confirmado mediante el levantamiento definitivo de tuberías, diámetros, longitudes, accesorios, válvulas y caudal de diseño.

$$H_f = 14,6 \text{ m.c.a.}$$

#### **4.3.4 Resultado de la altura manométrica total**

$$\text{HMT} = 38,4 + 15 + 14,6$$

$$\text{HMT} = 68 \text{ m.c.a.}$$

Por lo tanto, la altura manométrica total preliminar requerida para el sistema corresponde a 68 m.c.a.

#### **4.4. Selección preliminar de la electrobomba**

Como referencia para la selección técnica se considera la electrobomba centrífuga de doble rodete Pedrollo 2CP 40/180B. De acuerdo con el catálogo técnico del fabricante, este modelo posee una potencia de 5,5 kW o 7,5 HP y presenta una altura manométrica aproximada de 69 m para un caudal cercano a 180 L/min.

$$\text{Hbomba} \approx 69 \text{ m.c.a.}$$

$$\text{HMT}_{\text{sistema}} = 68 \text{ m.c.a.}$$

$$69 - 68 = 1 \text{ m.c.a.}$$

La diferencia entre ambos valores indica que la bomba se encuentra próxima al punto de operación requerido por la instalación. Por lo tanto, la Pedrollo 2CP 40/180B se considera técnicamente compatible de manera preliminar con el sistema estudiado. La selección definitiva deberá verificarse antes de la compra mediante los siguientes antecedentes:

- Cálculo del caudal máximo probable del edificio.
- Levantamiento real de la red hidráulica.
- Cálculo de pérdidas de carga.
- Validación de la presión de aspiración.
- Verificación de NPSH.
- Revisión de tensión eléctrica disponible.
- Confirmación de dimensiones, conexiones y espacio físico de montaje.

#### **V. Gestión del desempeño del activo**

La ISO 55001 enfatiza monitorear y evaluar el desempeño durante la operación.

El proyecto establece:

- un plan de mantenimiento preventivo.
- controles de presión y caudal.
- inspecciones periódicas de válvulas.
- registro histórico de fallas.
- monitoreo del estanque hidroneumático.

Todo esto contribuye a mantener un desempeño óptimo del sistema y evitar deterioros prematuros.

#### **VI. Mejora continua**

El enfoque de la norma incluye mejorar de manera sistemática los procesos y activos.

El proyecto inicia una estrategia progresiva:

- Reemplazo de dos bombas críticas.
- Recuperación del sistema de válvulas y tuberías.
- Establecimiento de contrato de mantenimiento mensual.
- Planificación del reemplazo futuro de las otras dos bombas.
- Esto transforma una gestión reactiva en una gestión preventiva y estratégicamente planificada.

#### VII. Valor para las partes interesadas

La ISO 55001 exige considerar los intereses de todos los actores involucrados.

Para los residentes:

- mejora la presión y continuidad del suministro de agua.
- reduce interrupciones y fallas.
- evita incrementos excesivos en gastos comunes.
- aumenta la confiabilidad del edificio.

Para la administración:

- facilita el control del sistema.
- reduce costos operativos imprevistos.
- permite decisiones basadas en evidencia.

### 4.5. Trabajos por realizar

#### A. Actividades preliminares

Inspección técnica del sistema actual:

- Levantamiento de información técnica: modelo, caudal, presión, potencia, años de servicio y estado operativo de las 3 bombas instaladas.
- Registro fotográfico y técnico de las bombas, válvulas, bases y tuberías existentes.
- Identificación de las dimensiones de succión y descarga, altura total de impulsión y tipo de conexión.

Evaluación de condiciones de instalación:

- Inspección del estado estructural de la base de hormigón y anclajes.
- Verificación del estado físico de tuberías, válvulas y uniones.
- Evaluación de accesibilidad para el retiro e instalación de nuevos equipos y maniobras de mantenimiento.

Determinación de la configuración operativa:

- Confirmar la operación bajo el principio de redundancia total, con intervalos de 7 horas para cada bomba.

#### B. Retiro de equipos antiguos

- Drenar el sistema y aislar hidráulicamente las bombas en desuso.
- Desconectar líneas eléctricas y uniones mecánicas.

- Retirar pernos de anclaje y desmontar las unidades defectuosas o con vida útil vencida.
- Limpiar la base y verificar su nivelación y estado de corrosión.
- Clasificar componentes reutilizables (válvulas, uniones, cañerías).

#### C. Instalación de nuevas bombas

- Montaje de bombas centrífugas Pedrollo 2CP 40/180B.
- Alineación precisa de ejes bomba–motor con reloj comparador.
- Conexión mediante uniones americanas, válvulas de compuerta de 2" y juntas de expansión.
- Prueba hidráulica con presión y caudal nominal según diseño.
- Sellado, ajuste final de pernos y aplicación de torque conforme a las especificaciones del fabricante.
- Etiquetado de bombas (B1 a B4) e incorporación de cada una al plan de mantenimiento preventivo.

#### D. Puesta en marcha y verificación

- Medición de presión de descarga, caudal, vibraciones y temperatura de los rodamientos.
- Ajuste de válvulas para balancear el flujo entre las cuatro bombas operativas.
- Verificación de estanqueidad, ausencia de fugas y ruido mecánico.
- Registro de parámetros base (presión, caudal, amperaje) para control de un futuro mantenimiento predictivo.

### 4.6. Cotizaciones: pasos y consideraciones

#### A. Cotización de electrobombas

- Marca y modelo actual: Pedrollo 2CP 40/180 o equivalente.
- Potencia: 7,5 HP (5,5 kW).
- Voltaje: 380V trifásico (confirmar en placa).
- Caudal nominal: 100–150 L/min por bomba.
- Altura manométrica total: 65–70 m.c.a.
- Material del cuerpo: hierro fundido o acero inoxidable.
- Conexión: bridas DN50 o rosca 2".
- Cantidad: 2 unidades.

Qué solicitar en la cotización:

- Precio unitario con IVA incluido.
- Garantía, plazo de entrega y soporte técnico.
- Ficha técnica y curva hidráulica.
- Descuento por compra de 2 unidades.
- Condiciones de transporte y despacho.

Se han contactado cuatro empresas especializadas con el fin de evaluar alternativas para la adquisición de las nuevas electrobombas y la ejecución de los trabajos asociados al proyecto. Cada proveedor ha presentado una propuesta técnica y económica acorde a los procedimientos establecidos previamente, permitiendo realizar un análisis comparativo en términos de costo, alcance, calidad de los materiales y servicios ofrecidos.

Además, algunas de estas empresas incluyen la opción de establecer un contrato de mantenimiento mensual, lo que permitiría implementar de manera formal el plan de mantenimiento preventivo definido para la sala de bombas. Este servicio contempla la inspección periódica de los equipos, ajustes operacionales, limpieza de válvulas, revisión de presión del estanque hidroneumático, lubricación, verificación del sistema eléctrico y reemplazo de piezas críticas cuando corresponda.

La posibilidad de contar con un contrato de mantención permanente representa una ventaja significativa, ya que contribuye a garantizar la continuidad operativa del sistema, reducir la probabilidad de fallas inesperadas y mejorar la eficiencia del funcionamiento hidráulico. Asimismo, permite llevar un registro claro de las actividades realizadas, facilitando la toma de decisiones futuras y alineando la gestión del sistema de bombeo con los principios de la ISO 55001, especialmente en lo relativo al ciclo de vida del activo y al control de riesgos operacionales.

En conjunto, la recopilación de cotizaciones y la evaluación de opciones de mantenimiento brindan una visión integral del proyecto, permitiendo seleccionar la alternativa más conveniente desde el punto de vista técnico, económico y operativo.

### **Plan de mantenimiento preventivo basado en criticidad**

#### **1. Descripción general del plan**

El plan de mantenimiento preventivo propuesto tiene como finalidad asegurar la continuidad operacional del sistema de impulsión de agua potable del edificio, reduciendo la probabilidad de fallas no programadas en las electrobombas, válvulas, tablero eléctrico, estanque hidroneumático y elementos hidráulicos asociados.

Considerando que la sala de bombas corresponde a un activo crítico para la habitabilidad del edificio, las actividades de mantenimiento se estructuran de acuerdo con la criticidad de los componentes, su impacto en la continuidad del suministro, los modos de falla más probables y los lineamientos de gestión de activos establecidos por la ISO 55001.

Este plan incorpora inspecciones operacionales, controles mecánicos, revisiones eléctricas, mantenimiento hidráulico, verificación de parámetros de funcionamiento y registro documentado de las intervenciones. Con ello, se busca transformar la gestión actual, principalmente correctiva, en una gestión preventiva y planificada, capaz de prolongar la vida útil de los equipos y respaldar futuras decisiones de reparación, renovación o reemplazo.

| Frecuencia | Equipo o componente            | Actividad                              | Descripción técnica                                                                                                                 | Criterio de aceptación                                               | Responsable                        | Registro                       |
|------------|--------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Diaria     | Sala de bombas                 | Inspección visual general              | Verificar presencia de fugas, ruidos anormales, vibraciones, humedad, corrosión o alarmas activas.                                  | Sin fugas visibles, sin ruidos anormales y sin alarmas.              | Operador o conserjería capacitada  | Check list diario              |
| Diaria     | Electrobombas                  | Verificación operacional               | Confirmar que la bomba en servicio opere sin vibraciones excesivas, golpes hidráulicos o sobretemperatura.                          | Funcionamiento estable durante el ciclo de operación.                | Operador                           | Registro de turno              |
| Semanal    | Sistema hidráulico             | Control de presión y caudal            | Registrar presión de descarga y caudal de operación. Comparar con parámetros de diseño de la instalación.                           | Presión y caudal dentro del rango definido para el edificio.         | Técnico de mantención              | Registro semanal de parámetros |
| Semanal    | Bombas B1, B2, B3 y B4         | Verificación de alternancia            | Confirmar que la alternancia distribuya las horas de operación entre las bombas disponibles.                                        | Horas de operación equilibradas entre equipos.                       | Técnico eléctrico o mantenedor     | Registro de horas de operación |
| Mensual    | Electrobombas                  | Limpieza externa e inspección mecánica | Limpiar carcasa, base, motor, ventilación y zona de acoplamiento. Revisar pintura, corrosión y pernos sueltos.                      | Equipo limpio, sin corrosión crítica ni fijaciones sueltas.          | Técnico mecánico                   | Orden de trabajo mensual       |
| Mensual    | Válvulas de succión y descarga | Revisión funcional                     | Operar válvulas de compuerta, retención y aislamiento. Verificar apertura, cierre, estanqueidad e incrustaciones.                   | Válvulas maniobrables, sin fugas ni bloqueo.                         | Técnico mecánico                   | Check list de válvulas         |
| Mensual    | Estanque hidroneumático        | Control de presión                     | Verificar presión de aire, estado de membrana, ciclos de partida y estabilidad de presión.                                          | Presión estable y ciclos de partida normales.                        | Técnico especialista               | Registro de presión            |
| Mensual    | Instrumentación                | Revisión de manómetros y presostatos   | Verificar lectura de presión, respuesta de presostatos y estado físico de instrumentos.                                             | Lecturas coherentes y sensores operativos.                           | Técnico eléctrico / instrumentista | Registro de inspección         |
| Trimestral | Tablero eléctrico              | Revisión eléctrica preventiva          | Verificar apriete de bornes, contactores, relés térmicos, protecciones, cableado, limpieza interna y señales de sobrecalentamiento. | Sin cables recalentados, bornes sueltos ni protecciones defectuosas. | Técnico eléctrico                  | Informe eléctrico              |

| Frecuencia  | Equipo o componente             | Actividad                    | Descripción técnica                                                                                                         | Criterio de aceptación                                                 | Responsable                 | Registro                       |
|-------------|---------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| Trimestral  | Motores eléctricos              | Control de consumo eléctrico | Medir amperaje por fase, tensión de alimentación y temperatura del motor.                                                   | Valores dentro de placa técnica y sin desbalance significativo.        | Técnico eléctrico           | Registro de mediciones         |
| Trimestral  | Válvulas de retención y filtros | Limpieza y verificación      | Retirar sedimentos, revisar cierre, apertura y condición interna.                                                           | Sin obstrucciones ni retorno de flujo.                                 | Técnico mecánico            | Orden de trabajo               |
| Semestral   | Conjunto bomba-motor            | Verificación de alineación   | Controlar alineación entre motor y bomba mediante reloj comparador o método equivalente.                                    | Desalineación dentro de tolerancia técnica.                            | Supervisor de mantenimiento | Informe de alineación          |
| Semestral   | Rodamientos                     | Revisión de condición        | Medir temperatura, ruido, vibración y condición de lubricación. Evaluar sustitución si existe desgaste.                     | Temperatura y vibración dentro de rangos aceptables.                   | Técnico mecánico            | Registro de condición          |
| Semestral   | Base, anclajes y uniones        | Inspección estructural       | Revisar pernos de anclaje, base de hormigón, uniones flexibles y soportes de cañería.                                       | Sin soldaduras, fisuras ni vibración estructural.                      | Técnico mecánico            | Check list semestral           |
| Anual       | Electrobombas                   | Mantenimiento general        | Desarme parcial, inspección de carcasa, eje, sello mecánico, rodamientos, impulsor y estado interno.                        | Componentes sin desgaste crítico; reemplazo de piezas según condición. | Taller especializado        | Informe anual de mantenimiento |
| Anual       | Sistema completo                | Prueba de desempeño          | Medir presión, caudal, amperaje, temperatura, vibración y comparar con línea base del sistema.                              | Desempeño similar a parámetros iniciales o dentro del rango aceptable. | Empresa mantenedora         | Informe técnico anual          |
| Cada 3 años | Electrobombas críticas          | Overhaul mayor               | Desarme completo, inspección interna, cambio preventivo de sellos y rodamientos, limpieza interna y pintura si corresponde. | Equipo recuperado para operación confiable.                            | Taller certificado          | Informe de overhaul            |
| Permanente  | Gestión de activos              | Registro histórico           | Registrar fallas, repuestos, costos, horas de operación, fechas de intervención y responsable.                              | Historial actualizado por equipo.                                      | Administración del edificio | Hoja de vida del activo        |

Indicadores de control del plan

| Indicador                              | Fórmula                                                           | Objetivo                                                     |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Cumplimiento del plan                  | Mantenciones<br>ejecutadas /<br>Mantenciones<br>programadas × 100 | Controlar la disciplina de mantenimiento.                    |
| Disponibilidad<br>operacional          | Horas disponibles /<br>Horas requeridas ×<br>100                  | Medir la continuidad del sistema de bombeo.                  |
| MTBF                                   | Horas de operación / Número<br>de fallas                          | Evaluar la confiabilidad de las electrobombas.               |
| MTTR                                   | Tiempo total de reparación /<br>Número de fallas                  | Medir la rapidez de respuesta ante fallas.                   |
| Costo de<br>mantenimiento por<br>bomba | Costo anual de mantenimiento<br>/ Número de bombas                | Evaluar el costo del ciclo de vida del activo.               |
| Consumo energético                     | kWh mensual del sistema                                           | Verificar eficiencia operacional y detectar<br>desviaciones. |

Figura 9. Plan de mantenimiento para sala de bombas. Fuente: elaboración propia.

La implementación de este plan permitirá controlar sistemáticamente el estado de las electrobombas y sus componentes asociados, generando información técnica útil para la toma de decisiones. A diferencia de la condición actual, donde predominan intervenciones correctivas, el plan propuesto establece una metodología preventiva basada en inspecciones periódicas, medición de parámetros operacionales y registro documentado de fallas.

De esta manera, la administración del edificio podrá evaluar el desempeño de cada bomba, anticipar fallas, planificar el reemplazo de componentes críticos y justificar futuras inversiones de acuerdo con criterios técnicos, económicos y de gestión de activos. Esto se alinea con los principios de la ISO 55001, al considerar el ciclo de vida del activo, la gestión del riesgo, la continuidad operacional y la mejora continua del sistema de agua potable.

4.7. Resultado esperado del proceso de cotización

- Comparativo técnico-económico entre las distintas propuestas.
- Selección de la alternativa óptima según costo, eficiencia y soporte postventa.
- Elaboración de un plan de ejecución con fechas, responsables y presupuesto definido.
- Documentación de respaldo: fichas técnicas, curvas hidráulicas, garantías y cotizaciones firmadas.

4.8. Puesta en marcha y verificación

- Medición de presión de descarga, caudal, vibraciones y temperatura de los rodamientos.
- Ajuste de válvulas para balancear el flujo entre las cuatro bombas operativas.
- Verificación de estanqueidad, ausencia de fugas y ruido mecánico.

- Registro de parámetros base (presión, caudal, amperaje) para control de un futuro mantenimiento predictivo.

**CAPÍTULO V**  
**EVALUACIÓN ECONÓMICA**

5.1. Introducción

El presente capítulo tiene como finalidad evaluar la factibilidad económica de la propuesta de renovación parcial del sistema de bombeo de agua potable del Edificio Dalcahue III, considerando los costos asociados al reemplazo de equipos críticos, la implementación de mantenimiento preventivo y el mecanismo utilizado por la comunidad para financiar la intervención.

Debido a que el sistema de bombeo corresponde a un activo común del edificio, la evaluación económica se desarrolla desde una perspectiva de mantenimiento industrial, considerando inversión requerida, confiabilidad del activo, costos de mantención y capacidad financiera de los residentes.

5.2. Análisis técnico-económico de cotizaciones

Se analizaron las cotizaciones disponibles considerando precio, alcance técnico y capacidad de cada alternativa para solucionar los problemas detectados en el diagnóstico: antigüedad de equipos, pérdida de redundancia y riesgo de falla.

| Empresa                  | Alcance                                                   | Valor aproximado                | Evaluación              |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| ESOMEL SpA               | Suministro e instalación de una bomba Pedrollo 2CP40/180B | \$3.471.468 IVA incluido aprox. | Solución parcial        |
| HidroMar Chile SpA       | Trabajos hidráulicos e instalación                        | \$1.082.900 IVA incluido aprox. | Complementaria          |
| HidroRed SpA             | Dos bombas, instalación y trabajos asociados              | \$6.580.700 IVA incluido        | Alternativa recomendada |
| JM Soluciones Integrales | Renovación de cuatro bombas                               | \$7.190.076 aprox.              | Renovación completa     |

5.3. Selección de alternativa recomendada

Luego del análisis técnico-económico, la alternativa HidroRed se considera la más conveniente para la primera etapa del proyecto, debido a que permite recuperar disponibilidad operacional mediante el reemplazo de dos electrobombas y trabajos mecánicos asociados.

Aunque no corresponde a la alternativa de menor costo inicial, entrega una solución más completa desde la perspectiva de mantenimiento industrial, disminuyendo el riesgo asociado a la antigüedad de los equipos.

5.4. Costo total del reemplazo

| Concepto                     | Valor       |
|------------------------------|-------------|
| Suministro de electrobombas  | Incluido    |
| Montaje y trabajos mecánicos | Incluido    |
| Intervención hidráulica      | Incluido    |
| Pruebas de funcionamiento    | Incluido    |
| Costo total proyecto         | \$6.580.700 |

5.5. Modelo de financiamiento mediante aumento del gasto común

La comunidad decidió financiar la intervención mediante un aumento del gasto común mensual. Antes del proyecto, el valor promedio era aproximadamente de \$70.000 mensuales por departamento, aumentando posteriormente hasta valores cercanos a

\$100.000 dependiendo del tamaño de cada unidad.

El incremento promedio considerado corresponde aproximadamente a \$30.000 mensuales por departamento.

Considerando aproximadamente 100 departamentos:

$100 \text{ departamentos} \times \$30.000 = \$3.000.000$  mensuales de recaudación aproximada.

Este mecanismo permitió financiar una mejora sobre un activo crítico sin recurrir a financiamiento externo.

5.6. Distribución aproximada según tamaño de departamento

| Tipo departamento | Características             | Nuevo gasto común estimado |
|-------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Pequeño           | 1 dormitorio, 35 m² aprox.  | \$90.000                   |
| Medio             | 2 dormitorios, 50 m² aprox. | \$100.000                  |
| Grande            | 3 dormitorios, 70 m² aprox. | \$110.000                  |

5.7. Costos de mantenimiento preventivo posterior

Posterior a la renovación del sistema, se recomienda implementar mantenimiento preventivo periódico para conservar la confiabilidad de los equipos.

Los valores de referencia obtenidos permiten estimar los siguientes costos:

| Proveedor | Costo mensual IVA incluido | Costo anual |
|-----------|----------------------------|-------------|
| HidroMar  | \$95.200                   | \$1.142.400 |
| ESOMEL    | \$101.150                  | \$1.213.800 |

5.8. Evaluación desde mantenimiento industrial

El aumento del gasto común representa una estrategia preventiva orientada a proteger un activo crítico del edificio. La inversión permite disminuir la probabilidad de fallas inesperadas, mejorar la disponibilidad del sistema y establecer una gestión basada en mantenimiento preventivo.

Desde la ingeniería de mantenimiento, el proyecto permite cambiar desde una estrategia reactiva hacia una planificación basada en confiabilidad, inspección periódica y control del estado de los equipos.

5.9. Conclusión del capítulo

La evaluación económica demuestra que la renovación parcial del sistema de bombeo es viable mediante un modelo de financiamiento comunitario basado en el aumento del gasto común.

El análisis de cotizaciones permitió determinar que la alternativa más conveniente no corresponde necesariamente al menor costo inicial, sino aquella que entrega mayor confiabilidad operacional y permite mantener el activo durante su ciclo de vida.

La propuesta seleccionada permite recuperar la disponibilidad del sistema, disminuir riesgos asociados a la antigüedad de los equipos y establecer una base para una estrategia formal de mantenimiento preventivo.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## **6.1 Conclusiones**

El trabajo permitió formular una propuesta de renovación parcial de electrobombas y mantenimiento preventivo para el sistema de agua potable del Edificio Dalcahue III. El diagnóstico, los criterios técnicos de intervención y la revisión de costos proporcionan una base para planificar el mejoramiento del servicio. Su ejecución requiere completar la verificación hidráulica, confirmar la condición de las unidades conservadas y actualizar el presupuesto. La mejora de confiabilidad y disponibilidad constituye un resultado esperado que deberá comprobarse mediante el seguimiento posterior.

### **6.1.1 Diagnóstico de la situación actual**

En relación con el primer objetivo específico, se caracterizó el sistema a partir de los antecedentes disponibles y se aplicaron las herramientas de diagnóstico desarrolladas en el marco teórico. La información del caso describe cuatro electrobombas instaladas, una fuera de servicio y tres reportadas como disponibles. Esta condición reduce el número de unidades utilizables, pero la capacidad restante y el respaldo efectivo dependen del funcionamiento de cada bomba y de la demanda del edificio.

El análisis de criticidad obtuvo un índice de 19,13, clasificado como crítico dentro de las escalas adoptadas en el capítulo III. El FMEA asignó sus mayores prioridades a la falla funcional de electrobombas, con RPN 400; la información de mantenimiento insuficiente, con 392; y la presión insuficiente en la red, con 350. Estos puntajes orientan la verificación y la atención de riesgos bajo los supuestos del análisis. Las condiciones de presión y los mecanismos de deterioro deben comprobarse antes de considerarlos fallas efectivamente observadas.

Ishikawa y los cinco porqués permitieron ordenar las hipótesis y reconocer las brechas de información. Los antecedentes no permiten establecer una causa raíz física definitiva de la detención ni atribuirla exclusivamente a la antigüedad. La trazabilidad incompleta de horas de operación, fallas e intervenciones también impide calcular valores históricos confiables de MTBF, MTTR y disponibilidad. Por ello, el diagnóstico sustenta la necesidad de inspeccionar y registrar la condición del sistema como base de las decisiones de mantenimiento.

#### **6.1.2 Propuesta de renovación parcial**

Respecto del segundo objetivo, se formuló una primera etapa que contempla sustituir dos electrobombas, revisar los componentes hidráulicos asociados y evaluar las dos unidades que permanecerían instaladas. La propuesta del capítulo IV establece criterios de selección, montaje y recepción que vinculan la renovación con el funcionamiento del conjunto. La cantidad de unidades a reemplazar debe confirmarse mediante la evaluación individual de los equipos y de la capacidad requerida.

El modelo Pedrollo 2CP 40/180B se mantiene como alternativa cotizada pendiente de validación. Su aceptación depende del caudal de diseño, la altura manométrica requerida, las condiciones de aspiración y la compatibilidad con las bombas conservadas. El estudio aporta los criterios para completar esa selección y comprobar la reserva disponible. La compra de equipos nuevos, por sí sola, no demuestra que se satisfagan todas las condiciones de servicio.

#### **6.1.3 Plan de mantenimiento preventivo**

El tercer objetivo se desarrolló mediante un programa que define actividades, frecuencias iniciales, responsables y registros, junto con criterios de aceptación e indicadores de seguimiento. Su aplicación comprende las electrobombas y los elementos que condicionan su operación, como válvulas, estanques, hidroneumático, bases y conexiones. Las frecuencias deberán ajustarse a los manuales, las horas de uso y los resultados de las inspecciones.

El aporte del plan consiste en organizar las intervenciones y generar información comparable sobre la condición de cada activo. Esta información permitirá revisar la alternancia, programar reparaciones y fundamentar futuras renovaciones. El uso de ISO 55001 como referencia vincula las decisiones con el servicio requerido y el ciclo de vida del sistema; el alcance de la propuesta no equivale a implementar o certificar íntegramente un sistema de gestión de activos.

#### **6.1.4 Evaluación económica de la propuesta**

En relación con el cuarto objetivo, se compararon las cotizaciones y se identificaron referencias de inversión y mantenimiento. El capítulo V utiliza la alternativa HidroRed, por \$6.580.700 con IVA incluido, como base presupuestaria para la primera etapa. Las diferencias de cantidad de bombas, trabajos incluidos y detalle de las ofertas limitan su comparación directa. La preferencia por esta alternativa deberá confirmarse mediante cotizaciones actualizadas con un alcance técnico equivalente.

Los costos de mantenimiento preventivo considerados oscilan entre \$95.200 y \$101.150 mensuales con IVA, equivalentes a \$1.142.400 y \$1.213.800 anuales, respectivamente. Estos montos corresponden a servicios recurrentes que deben presupuestarse junto con la inversión inicial, verificando las tareas y los repuestos incluidos. Los valores se expresan en pesos chilenos y mantienen el carácter referencial de las cotizaciones analizadas.

El modelo de financiamiento del capítulo V considera aproximadamente 100 departamentos y un incremento promedio de \$30.000 mensuales por unidad, lo que representa una recaudación estimada de \$3.000.000 al mes. Este escenario permite dimensionar una posible fuente de recursos. Su aplicación requiere confirmar el número de unidades, los criterios de distribución, el plazo de cobro y la recaudación efectiva. La información presentada permite una evaluación presupuestaria preliminar; los costos de operación, los ahorros y la capacidad real de financiamiento requieren antecedentes adicionales para establecer la viabilidad económica definitiva.

## **6.2 Recomendaciones**

Se recomienda desarrollar la intervención por etapas, comenzando por las verificaciones que condicionan la selección de equipos y el presupuesto. La administración y el responsable técnico deberán definir la secuencia de trabajo, conservar la evidencia de cada decisión y comprobar los resultados de la puesta en servicio.

### **6.2.1 Verificaciones antes de adquirir los equipos**

Completar el inventario de la sala y asignar una identificación permanente a cada electrobomba. Las fichas deberán incorporar fotografías de placa, modelo, número de serie, potencia, condiciones de alimentación y antecedentes de instalación. El diagnóstico de la unidad fuera de servicio y la evaluación individual de las restantes permitirán fundamentar cuáles requieren reemplazo, cuáles admiten reparación y cuáles pueden continuar operando.

Cerrar el levantamiento hidráulico con el caudal de diseño, las cotas, los diámetros y longitudes de tuberías, los accesorios y las presiones requeridas. A partir de estos antecedentes, comprobar la curva de la instalación, el punto de funcionamiento y el NPSH disponible frente al requerido por el equipo propuesto, con el margen que corresponda a la aplicación. También deberá verificarse la operación conjunta y la capacidad de servicio ante la indisponibilidad de una unidad.

Confirmar la compatibilidad de las conexiones, las dimensiones, las bases y la alimentación eléctrica de la versión que se suministrará. La evaluación deberá incluir válvulas de aislamiento y retención, soportes, estanques e hidroneumático. Los repuestos y las adaptaciones se especificarán después de identificar los equipos y el montaje real, para evitar compras basadas únicamente en referencias generales de catálogo.

### **6.2.2 Ejecución y recepción de la intervención**

Coordinar la intervención con la administración y el contratista, definiendo el servicio disponible durante los trabajos, la comunicación a los residentes y las medidas previstas ante una interrupción. Las maniobras de aislamiento, desmontaje, montaje y conexión deberán quedar a cargo de personal competente y ajustarse a los procedimientos y manuales aplicables.

Establecer los criterios de aceptación antes de la puesta en marcha. La recepción deberá incluir pruebas individuales y conjuntas, con registros de caudal, presión, estanqueidad, corriente, temperatura y vibración, además de la comprobación de alternancia y reserva. El acta de entrega deberá incorporar los resultados, las observaciones resueltas, las garantías y la documentación de los equipos instalados. Esta información constituirá la referencia inicial para el seguimiento del sistema.

### **6.2.3 Mantenimiento y control de la información**

Aplicar el programa preventivo del capítulo IV y revisar sus frecuencias con la empresa mantenedora según las condiciones reales de servicio. Las observaciones rutinarias deberán registrar fugas, cambios de presión, ruidos y anomalías de funcionamiento. Las inspecciones técnicas se programarán conforme al manual y a la condición, evitando establecer recambios o desmontajes sistemáticos sin una justificación técnica.

Mantener una bitácora por equipo y una orden de trabajo por intervención. Se registrarán horas de operación, síntomas, diagnóstico, tareas ejecutadas, repuestos, responsables y pruebas de cierre. Para analizar los tiempos de indisponibilidad se distinguirán la reparación, la espera de recursos y la interrupción efectiva del suministro del edificio. La administración deberá conservar los documentos y verificar que el contratista entregue informes con resultados medidos y acciones pendientes. Revisar mensualmente el cumplimiento del mantenimiento y la evolución de los registros. El cálculo de MTBF, MTTR y disponibilidad se iniciará cuando existan datos suficientes y definiciones consistentes de falla, reparación y servicio requerido. En periodos sin fallas se informarán las horas observadas, evitando presentar un MTBF obtenido mediante división por cero. Los objetivos de desempeño se fijarán con una línea base y se revisarán conforme aumente la información disponible.

### **6.2.4 Presupuesto y financiamiento comunitario**

Solicitar ofertas actualizadas sobre una misma especificación de suministro, instalación y pruebas. La comparación deberá identificar impuestos, garantías, exclusiones y costos de las verificaciones o adaptaciones necesarias. El presupuesto anual deberá distinguir la inversión inicial, el mantenimiento contratado, los repuestos, la energía y las reparaciones previsibles, indicando qué partidas cuentan con cotización y cuáles requieren estimación adicional.

Respaldar el financiamiento con información de la administración sobre unidades participantes, coeficientes de distribución, recursos disponibles y comportamiento de pago. Antes de fijar el cobro, definir el monto a financiar, el número de cuotas y el tratamiento de eventuales diferencias de recaudación. Los gastos comunes de \$90.000, \$100.000 y \$110.000 presentados en el capítulo V deberán mantenerse como ejemplos hasta confirmar las tipologías y los antecedentes que justifican la distribución.

### **6.2.5 Seguimiento y decisiones de renovación futura**

Evaluar anualmente las unidades conservadas y actualizar la criticidad y el FMEA con las inspecciones, fallas y tiempos registrados. La decisión de una segunda etapa de renovación deberá considerar la capacidad de servicio, los costos de reparación, la disponibilidad de repuestos y la compatibilidad del conjunto. Las prioridades se revisarán antes de ese plazo cuando aparezcan anomalías relevantes.

Para comprobar el desempeño energético, registrar energía consumida y volumen bombeado bajo condiciones comparables de altura y demanda. El análisis posterior permitirá determinar si existen mejoras atribuibles a la intervención. La continuidad del suministro y la disponibilidad también deberán evaluarse con registros de operación, de modo que las futuras decisiones se apoyen en resultados observables.

### **6.3 Alcance y limitaciones del estudio**

El estudio entrega un diagnóstico preliminar, una propuesta de intervención y un programa de mantenimiento acompañado de referencias presupuestarias. Las limitaciones principales corresponden al historial incompleto, la falta de un levantamiento hidráulico definitivo y las diferencias de alcance entre cotizaciones. Estas condiciones restringen la determinación de causas físicas, la selección final y la evaluación de los costos durante la operación.

El objetivo general se desarrolla en el nivel de una propuesta técnica y económica preliminar. Su contribución consiste en establecer qué debe verificarse, cómo organizar la renovación parcial y qué información permitirá controlar el mantenimiento. La continuidad del abastecimiento será el criterio principal para aceptar la intervención y valorar sus resultados después de implementarla.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Comunidad Edificio Dalcahue III. (2025). Certificado de visita técnica y antecedentes de mantenimiento. Documento interno incorporado en Anexo A.

Mora Gutiérrez, L. A. (2009). Mantenimiento: planeación, ejecución y control. Alfaomega Grupo Editor.

Pedrollo S.p.A. (s. f.). Electrobombas centrífugas con doble rodete 2CP: catálogo técnico 50 Hz.

ANEXOS

Comunidad Edificio Dalcahue III  
Rut 56.056.230-1

Santiago, 27 de noviembre de 2025.

**CERTIFICADO DE VISITA TÉCNICA Y  
ANTECEDENTES DE MANTENIMIENTO**

COMUNIDAD EDIFICIO DALCAHUE III  
RUT: 56.056.230-1

Yo, Clemira Aurora Araya Carrasco, RUT 9.793.543-2, en mi calidad de presidenta del Comité de Administración de la Comunidad Edificio Dalcahue III, ubicada en calle José Miguel Carrera N.º 321, comuna de Santiago, certifico que don Johan Alfonso Ortiz Araya, RUT 20.203.967-7, realizó una visita técnica a las instalaciones de la sala de bombas del edificio.

La visita tuvo como finalidad efectuar el levantamiento de antecedentes técnicos y evaluar preliminarmente el sistema de impulsión de agua potable, en el marco de su trabajo de titulación denominado:

"Plan de mantenimiento preventivo y cambio de electrobombas para red de agua potable en edificio Santiago Centro, Región Metropolitana".

Durante la visita se autorizó la revisión visual y técnica de la sala de bombas, las electrobombas, válvulas, tuberías, conexiones hidráulicas, sistema de control y condiciones generales de operación. Asimismo, se otorgaron las facilidades necesarias para recopilar antecedentes relativos al funcionamiento, antigüedad y mantenimiento de los equipos que abastecen de agua potable a los catorce pisos y aproximadamente cien departamentos del edificio.

Comunidad Edificio Dalcahue III  
Rut 56.056.230-1

De acuerdo con los antecedentes documentales disponibles al momento de la visita, se deja constancia de que la Comunidad no cuenta con un registro histórico formal, completo y sistematizado de fallas, horas de funcionamiento, tiempos de detención, tiempos de reparación ni actividades de mantenimiento realizadas en las electrobombas y equipos asociados de la sala de bombas.

En consecuencia, no fue posible disponer de información suficiente y trazable para calcular indicadores de desempeño de mantenimiento tales como el Tiempo Medio de Reparación (MTTR) y el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF). En caso de componentes no reparables, tampoco se cuenta con antecedentes suficientes para estimar el Tiempo Medio Hasta la Falla (MTTF).

La ausencia de dichos registros constituye un antecedente relevante para la evaluación técnica del sistema, dado que limita el análisis histórico de confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad y costos de mantenimiento de los equipos. Por esta razón, dentro de la propuesta académica se contempla la implementación de registros de mantenimiento, control de horas de operación, historial de fallas e indicadores de gestión para apoyar la futura toma de decisiones del Comité de Administración.

Se extiende el presente certificado a solicitud del interesado, para fines académicos y administrativos que estime pertinentes.

Atentamente,  
---



COMUNIDAD EDIFICIO  
DALCAHUE III  
RUT: 56.057.230-1  
FONO: 227617732

**Clemira Aurora Araya Carrasco**  
**Presidenta Comité de Administración**  
**Comunidad Edificio Dalcahue III**  
**RUT: 9.793.543-2**

Figura 7. Certificado de visita técnica y antecedentes de mantenimiento del Edificio Dalcahue III. Fuente: proporcionada por el comité del edificio.