

# ACTUALIZACIÓN Y MEJORA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN SISTEMA SAP APLICADO EN EL SISTEMA DE UTILIDADES DE LA EMPRESA AZA

Informe final Proyecto de pasantía  
Ingeniería Civil Mecánica

Agustín Soto-Lafoy Meza

Diciembre 2023

## Resumen ejecutivo

La pasantía se llevó a cabo en Aceros AZA S.A, el principal productor de acero basado en material reciclado, también conocido como "acero verde". Su oferta incluye barras y rollos de refuerzo para hormigón, alambIÓN, perfiles laminados en caliente y barras helicoidales Saferock, destinados a diversos mercados. El foco principal de la pasantía fue el Sistema de Utilidades de la planta de Colina, el cual desempeña un papel crucial al proporcionar servicios de refrigeración tanto para la palanquilla como para otros equipos mediante el uso de agua industrial. Además, tiene la misión de suministrar agua potable a la planta y mantener una red de incendios en caso de emergencia. Cabe destacar que, después de cada uso, el agua se recicla y procesa para ser reutilizada tantas veces como sea posible.

El principal desafío identificado en este sistema es el elevado porcentaje de mantenimiento correctivo, alcanzando un 81% de costos de mantenimiento, mientras que el mantenimiento preventivo representa solo el 9%, y el 10% restante se distribuye entre otras metodologías empleadas por la empresa. Además, se enfrenta a la problemática del incumplimiento de las órdenes de mantenimiento preventivo, con un bajo promedio del 53%, situándose significativamente por debajo del objetivo del 80% propuesto por el SPCM (Sistema de Programación y Control del Mantenimiento). Se ha determinado que la raíz principal de estos problemas reside en la desactualización de los planes de mantenimiento y la falta de control sobre los equipos.

El objetivo general propuesto es la actualización y mejora del plan de mantenimiento existente, con un enfoque en la identificación de equipos que tienen un impacto significativo en los costos de mantenimiento. Se busca actualizar, eliminar o agregar operaciones pertinentes para garantizar el funcionamiento eficiente de dichos equipos. Se plantea la incorporación de la metodología de "Optimización del Mantenimiento Planeado" adaptada al contexto específico del problema. Para lograrlo, se propone el registro de información de las tareas rutinarias a través del sistema SAP, generando así planes de mantenimiento de inspección que proporcionen una base sólida para la gestión eficaz de los equipos.

El producto final del proyecto consistirá en planillas de carga diseñadas para la actualización e implementación de los planes de mantenimiento preventivo y rutinario. Se proyecta alcanzar una reducción del 13% en los costos asociados al mantenimiento correctivo como resultado de estas mejoras.

## Abstract

The internship took place at Aceros AZA S.A, the leading producer of steel based on recycled material, also known as "green steel". Their offerings include reinforcement bars and rolls for concrete, wire rod, hot-rolled profiles, and Saferock helical bars, targeting diverse markets. The primary focus of the internship was the Utilities System at the Colina plant, which plays a crucial role in providing cooling services for both the billet and other equipment using industrial water. It also has the mission of supplying potable water to the plant and maintaining a fire network in case of emergencies. It is worth noting that, after each use, water is recycled and processed for reuse as many times as possible.

The main challenge identified in this system is the high percentage of corrective maintenance, reaching 81% of maintenance costs, while preventive maintenance represents only 9%, with the remaining 10% distributed among other methodologies employed by the company. Additionally, there is an issue of non-compliance with preventive maintenance orders, with an average of 53%, significantly below the 80% target proposed by the SPCM (Maintenance Planning and Control System). The root cause of these problems has been determined to be the outdated maintenance plans and lack of control over the equipment.

The proposed overall objective is to update and improve the existing maintenance plan, focusing on identifying equipment with a significant impact on maintenance costs. The aim is to update, eliminate, or add relevant operations to ensure the efficient operation of these pieces of equipment. The incorporation of the "Planned Maintenance Optimization" methodology adapted to the specific context of the problem is suggested. To achieve this, the recording of routine task information through the SAP system is proposed, generating inspection maintenance plans to provide a solid foundation for effective equipment management.

The final project deliverable will be loading sheets designed for the update and implementation of preventive and routine maintenance plans. A 13% reduction in costs associated with corrective maintenance is projected because of these improvements.

# Índice

1. Introducción .....	9
1.1. Contexto de la empresa .....	9
1.1.1. Proceso productivo en Planta Colina .....	10
1.1.2. Sistema de utilidades .....	12
1.2. Contexto del Problema .....	14
1.2.1. Mantenimiento en la empresa AZA .....	14
1.2.2. Situación actual sistema de utilidades.....	14
1.2.3. Resumen de la problemática.....	20
2. Objetivos.....	21
2.1. Objetivo general .....	21
2.2. Objetivos específicos.....	21
3. Estado del arte.....	22
3.1. Definición de mantenimiento .....	22
3.2. Tipos de mantenimiento .....	22
3.3. Estrategias de mantenimiento .....	24
4. Propuestas y solución .....	27
5. Metodologías .....	29
6. Indicadores de desempeño.....	30
7. Desarrollo del proyecto .....	31
7.1 Plan de implementación .....	31
7.2. Riesgos y mitigaciones.....	32
7.3. Jerarquización de activos .....	34
7.4. Actualización de planes de mantenimiento preventivo.....	38
7.5. Tareas rutinarias en sistema de utilidades .....	40
8. Evaluación económica .....	41
8.2. Rentabilidad del proyecto .....	41
9. Entregables y resultados esperados .....	43
10. Conclusión y discusión.....	45
11. Referencias.....	46
12. Anexos.....	47

Anexo A. Jerarquización de activos.....	47
1. Análisis Mantenimiento Correctivo no Planificado .....	47
2. Análisis Mantenimiento Preventivo.....	51
3. Análisis Mantenimiento Correctivo Planificado .....	54
4. Análisis del Sistema de Agua Directa .....	57
Anexo B. Evaluación económica .....	58
Anexo C. Matriz de riesgo .....	60
Anexo D. Planillas de carga .....	64

## Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Mapa Arauco. AZA en obras. (AZA, 2023) .....	9
Ilustración 2. Esquema del proceso de fabricación del Acero AZA. (AZA, 2023) .....	11
Ilustración 3. Plantas de tratamiento de agua en planta colina AZA. Elaboración propia..	12
Ilustración 4. Flujograma sistema de utilidades general AZA. Elaboración propia .....	13
Ilustración 5. Diagrama de Ishikawa problema Sistema de utilidades AZA. Elaboración propia .....	15
Ilustración 6. Ejemplo de redundancia “Stan by” en bombas del sistema directo. Elaboración propia .....	18
Ilustración 7. Plan de implementación, hitos del proyecto. Elaboración propia.....	31
Ilustración 8. Descripción estructura planes de mantenimiento. Fuente: Martínez, 2021 y Yolanda, 2019.....	39

## Índice de tablas

Tabla 1. Costos de mantenimiento del sistema de utilidades del año 2020 hasta 2023. Elaboración propia.....	16
Tabla 2. Distribución de ordenes de mantenimiento mensual, Sistema utilidades 2023. Elaboración propia.....	19
Tabla 3. Horas hombre programadas v/s reales mensualmente, Sistema utilidades 2023. Elaboración propia.....	20
Tabla 4. Tipos de mantenimiento. (Montaña, 2016).....	23
Tabla 5. Información sobre el Mantenimiento Productivo Total. (Montaña, 2016) .....	24
Tabla 6. Información sobre el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. (Montaña, 2016) .....	25
Tabla 7. Información sobre Optimización del Mantenimiento Planeado. (Ponce, 2018)....	26
Tabla 8. Matriz de Criticidad.....	32
Tabla 9. Gráfico jerarquización de equipos .....	34
Tabla 10. Estudio de costos v/s ordenes mantenimiento. Mantenimiento correctivo no planificado .....	35
Tabla 11. Estudio de costos v/s ordenes mantenimiento. Mantenimiento correctivo planificado .....	37
Tabla 12. Reducción de costos de mantenimiento correctivo por caso .....	42
Tabla 13. Valor actual neto de casos de estudio. ....	42
Tabla 14. Resultados planes de mantenimiento preventivo. Elaboración propia .....	43
Tabla 15. Resultados planes inspección rutinaria. Elaboración propia .....	44
Tabla 16. Costos órdenes de mantenimiento correctivo no planificado .....	47
Tabla 17. Pareto costos PM01 2020-2023 .....	48
Tabla 18. Pareto órdenes mantenimiento PM01 2020-2023.....	49
Tabla 19. Relación de variables costos y número de órdenes PM01.....	50
Tabla 20. Costos órdenes de mantenimiento preventivo .....	51
Tabla 21. Pareto costos PM03 2020-2023 .....	51
Tabla 22. Pareto órdenes mantenimiento PM03 2020-2023.....	52
Tabla 23. Relación de variables costos y número de órdenes PM03.....	53
Tabla 24. Costos órdenes de mantenimiento correctivo planificado .....	54
Tabla 25. Pareto costos PM07 2020-2023 .....	54
Tabla 26. Pareto órdenes mantenimiento PM07 2020-2023.....	55
Tabla 27. Relación de variables costos y número de órdenes PM07.....	56

Tabla 28. Costos de mantenimiento, equipos del sistema agua directa .....	57
Tabla 29. Costos de mantenimiento correctivo en sistema de aguas, 2019 - 2023 .....	58
Tabla 30. Reducción costos de mantenimiento correctivo. Caso conservador. ....	59
Tabla 31. Reducción costos de mantenimiento correctivo. Caso moderado.....	59
Tabla 32. Reducción costos de mantenimiento correctivo. Caso optimista.....	59
Tabla 33. Ejemplo planilla de carga pt1.....	64
Tabla 34. Ejemplo planilla de carga pt2.....	65



# 1. Introducción

## 1.1. Contexto de la empresa

La empresa AZA se dedica a la producción de acero en base a material reciclado, donde recibe y procesa toda la chatarra ferrosa para la producción de barras de acero para hormigón armado, perfiles de acero de uso industrial, alambre y rollos, todo a partir de metal reciclado. Cuenta con el eslogan “Acero Sostenible” debido a que la materia prima del proceso es chatarra ferrosa reciclada. Hasta el día de hoy, se calcula 8 millones de toneladas de chatarra reciclada por la empresa. Además, cuenta con la huella de carbono más baja de la industria en Chile, de 0,22 de toneladas de  $CO_2$  sobre toneladas de acero, comparado con el promedio de las siderúrgicas semi integradas que poseen 0,67 toneladas de  $CO_2$  sobre toneladas de acero. Este proceso productivo da origen a un modelo de economía circular, en donde se reciclan más de 500 mil toneladas de chatarra al año. Esto posiciona a AZA como el mayor reciclador del país.

Sus productos, como las barras y perfiles de acero, además de cumplir con los más altos estándares de seguridad, cumplen con la certificación LEED (Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental) y CES (Certificación de Edificio Sustentable).



*Ilustración 1. Mapa Arauco. AZA en obras. (AZA, 2023)*

La empresa forma parte de múltiples proyectos de construcción (Ilustración N°1) tales como: Hospital Geriátrico del Salvador, Hospital de Chillán, Parque eólico San Gabriel, Aeropuerto de Santiago, entre otros (AZA Acero Sostenible, 2023).

Esta empresa cuenta con 2 plantas productivas en el país. La casa matriz, la cual se encuentra en Renca, y la planta de Colina. También cuenta con 4 centros de reciclaje ubicados en Temuco, Concepción, Antofagasta y la misma planta de colina. Toda la chatarra es enviada a Colina, en donde es fundida y transformada en palanquillas de acero reciclado.

### **1.1.1. Proceso productivo en Planta Colina**

El proceso de producción se subdivide en cuatro áreas, “Recepción, clasificación y procesamiento de chatarra”, “Acería”, “Laminación” y, por último, “Despacho”. En la Ilustración N°2 se presenta un esquema del proceso de fabricación.

En la etapa de “Recepción, clasificación y procesamiento de chatarra”, la chatarra es introducida en una prensa donde se fragmenta a una densidad adecuada para separar magnéticamente los productos no ferrosos, luego es ingresado en la cesta la cual es introducida en el carguío del horno. Aquí el material se encuentra con un 70-80% de ferroaleaciones. Para alcanzar las propiedades requeridas por la empresa que debe tener el acero, se le incorpora carbono, como cal, y ferroaleaciones como ferro silicio, aluminio, ferrocromo de alto carbono, entre otros. De esta forma el porcentaje de ferroaleaciones queda entre 20 y 30%.

En la segunda etapa, en el área de acería, se realiza la fundición del metal con el uso de un horno eléctrico, luego la cuchara es trasladada al proceso de colada continua en donde se solidifica el acero líquido. El resultado final del proceso son palanquillas de 12 metros de largo con una sección frontal cuadrada de 130 x 130 milímetros. Las palanquillas resultantes luego son procesadas por el área de laminación, ya sea en la planta de Colina como en la de Renca, donde varía el tipo de producto y capacidad de producción.

En este paso del proceso se busca deformar la palanquilla luego de ser recalentada a temperatura uniforme de 1200°C en un horno horizontal, de esta forma el acero se comporta en forma plástica, facilitando la deformación de este. La palanquilla recalentada es alimentada al tren de laminación en donde se reduce su sección en forma secuencial. El producto final puede ser barra recta o rollo.



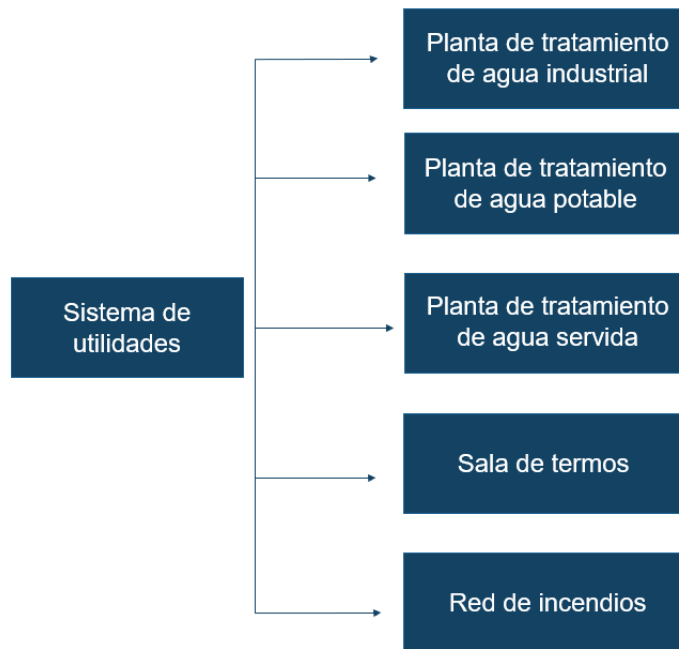
*Ilustración 2. Esquema del proceso de fabricación del Acero AZA. (AZA, 2023)*

Una vez terminado el proceso de producción, el producto es almacenado en el patio de rollos o en los almacenes de barras. Se hacen pruebas para medir las propiedades mecánicas y así asegurar la calidad final necesaria. En caso de cumplir con los requerimientos el producto es despachado al cliente y en el caso contrario, vuelve al patio de chatarra para reingresar al proceso.

### 1.1.2. Sistema de utilidades

Dentro de la producción y transformación de metales, se considera una gran cantidad de agua utilizada principalmente en los sistemas de refrigeración de equipos, del acero fundido, en el proceso de colada continua y en la refrigeración de la palanquilla en el proceso de laminación.

Dentro del área de laminación se encuentra el sistema de utilidades (Ilustración N°3), el cual se encarga de extraer y procesar el agua proveniente de los pozos para que esta pueda ser usada por el personal y en los procesos de producción, ya sea refrigerado de forma directa o indirecta. Además, tiene uso en el sistema de riegos, red de incendios y de agua servida. Se busca reutilizar toda el agua usada en los procesos mediante un ciclo de limpieza y control de calidad.



*Ilustración 3. Subsistemas del sistema de utilidades, planta colina AZA.*

La planta de tratamiento de agua industrial se encarga de extraer y procesar el agua obtenida del pozo N°2 para dejarlo en condiciones óptimas para ser utilizado en los procesos de producción de acería y laminación. Para el caso de acería se necesitan bajos niveles de dureza para evitar problemas de precipitación de sólidos calcáreos por la alta temperatura del proceso. El agua utilizada en estos procesos se debe tratar para ser recirculada y reutilizada.

En la planta de agua potable se extrae agua del pozo N°1 para ser utilizado por el personal. La sala de termos se encarga de calentar esta agua para ser utilizada en camarines, baños y el casino de la empresa. La planta de tratamiento de agua servida se preocupa de procesar el agua usada por los colaboradores para luego servir como agua de riego de las áreas verdes.

Por último, la red de incendio, alimentada por la piscina de agua dura proveniente del pozo N°2, tiene como propósito detectar y actuar frente a cualquier alerta de incendio para prevenir la propagación de este. La red se encuentra distribuida a lo largo de toda la planta, cuenta con 19 estaciones con mangueras y equipos especializados para actuar ante cualquier emergencia.

En la Ilustración N°4 se muestra, de forma general, el movimiento del agua desde su extracción desde el pozo hasta su destino final (riego de aguas verdes, evaporación o en el estero los Patos).

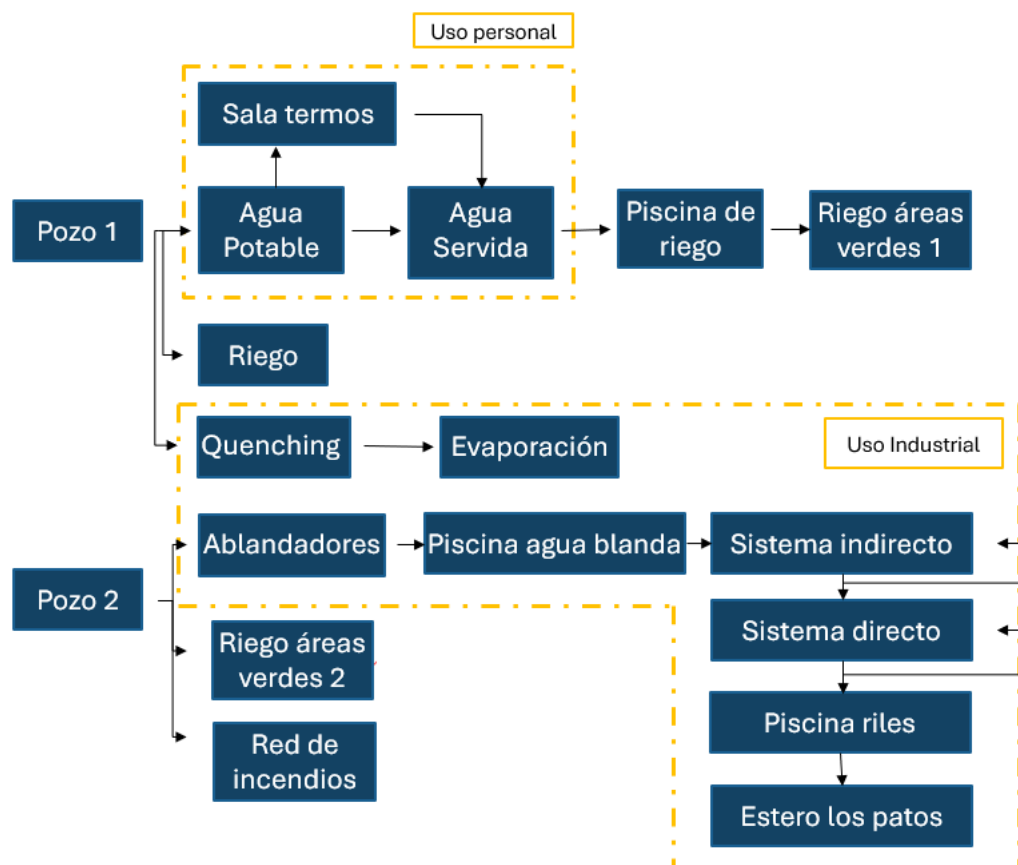


Ilustración 4. Flujograma sistema de utilidades general AZA.

## **1.2. Contexto del Problema**

### **1.2.1. Mantenimiento en la empresa AZA**

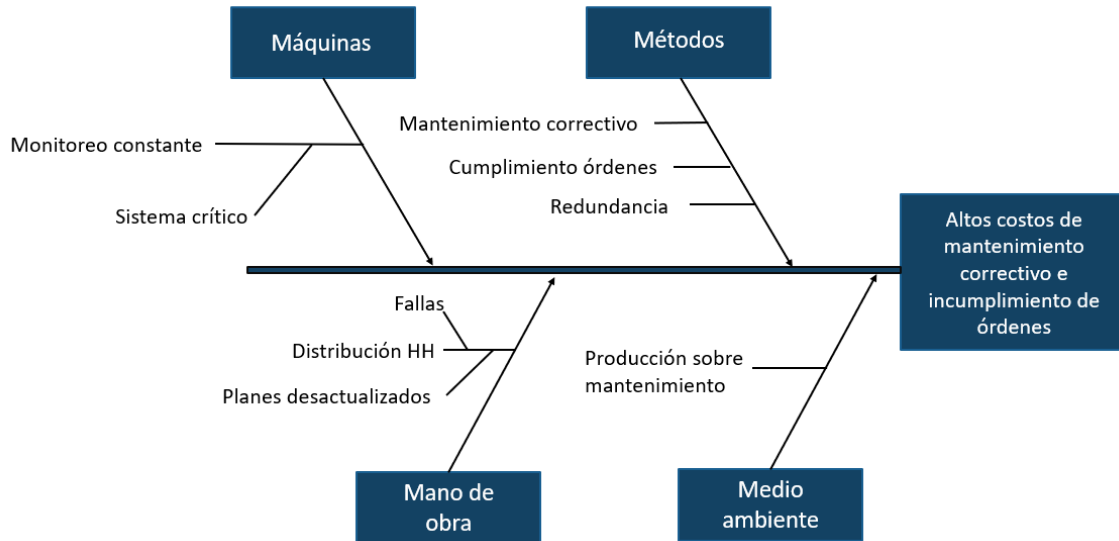
La empresa AZA emplea el sistema SAP HANA con capacidades avanzadas de búsqueda, analíticas e integración de datos (SAP, 2023). El módulo SAP PM se encarga de gestionar el mantenimiento de la planta, abarcando desde logística hasta tareas de mantenimiento de activos. El área de mantenimiento utiliza este sistema para organizar y administrar órdenes de mantenimiento programadas y, en caso de detectar fallas, los operadores pueden generar órdenes correctivas.

A principios de 2022, se identificaron problemas en la gestión del mantenimiento, como falta de capacitación en SAP, ausencia de notificaciones, prácticas diversas en diferentes áreas y carencia de indicadores de eficacia. Para abordar estos problemas, se decidió implementar el SPCM (Sistema de Programación y Control del Mantenimiento) propuesto por ENCOBE. Este sistema busca mejorar la eficiencia en la gestión de recursos y costos de mantenimiento, así como controlar indicadores. Su implementación permitió recopilar información mensual sobre tareas programadas, revelando brechas previamente no consideradas.

### **1.2.2. Situación actual sistema de utilidades**

Mediante el estudio y análisis de datos recolectados a través de plataformas como SAP HANA y SPCM que posee la empresa, fue posible identificar dos principales problemas encontrados en el área de laminación, específicamente en el sistema de utilidades. Estos son los costos de mantenimiento y el porcentaje de cumplimiento de las órdenes de mantenimiento.

El diagrama de causa y efecto, también conocido como Diagrama de Ishikawa, ayuda a identificar las posibles causas de un problema de forma ordenada y estructurada (Garro, 2017). A continuación, se presenta un Diagrama de Ishikawa (Ilustración N°5) para identificar las causas de los problemas expuestos anteriormente.



*Ilustración 5. Diagrama de Ishikawa problema Sistema de utilidades AZA.*

Las causales fueron divididas en cuatro grupos, llamados Mano de Obra, Métodos, Medio ambiente y Maquinas:

- **Mano de Obra:** Las horas asignadas para el mantenimiento preventivo no son precisas debido a la falta de actualización en los planes de mantenimiento y a las fallas imprevistas que generan trabajo adicional, resultando en un aplazamiento de la prioridad de las tareas.
- **Métodos:** El sistema de utilidades trabaja principalmente con mantenimiento correctivo, teniendo un bajo porcentaje de cumplimiento de ordenes preventivas y un sistema de redundancia el cual evita interrupciones, pero aumenta el trabajo correctivo.
- **Máquinas:** El sistema de utilidades requiere monitoreo constante de las máquinas y del estado del agua debido a su papel crítico en el proceso. La falta de monitoreo resulta en la ausencia de registros, lo que reduce el control de información sobre posibles causas de fallas.
- **Medio ambiente:** Dado que el sistema de utilidades no afecta directamente la producción, se le dedica menos atención a su mantenimiento.



## A) Costos de mantenimiento

Las órdenes de mantenimiento en el sistema SAP PM se dividen en once áreas, en donde solo tres serán consideradas en el estudio: Mantenimiento Correctivo no planificado, Mantenimiento Predictivo, Mantenimiento Preventivo y por último Mantenimiento Correctivo planificado. Se hizo un estudio preliminar de órdenes de mantenimiento desde enero del año 2020 hasta octubre del año 2023 para el sistema de utilidades de la empresa (Tabla N°1) el cual se presenta en el siguiente gráfico.

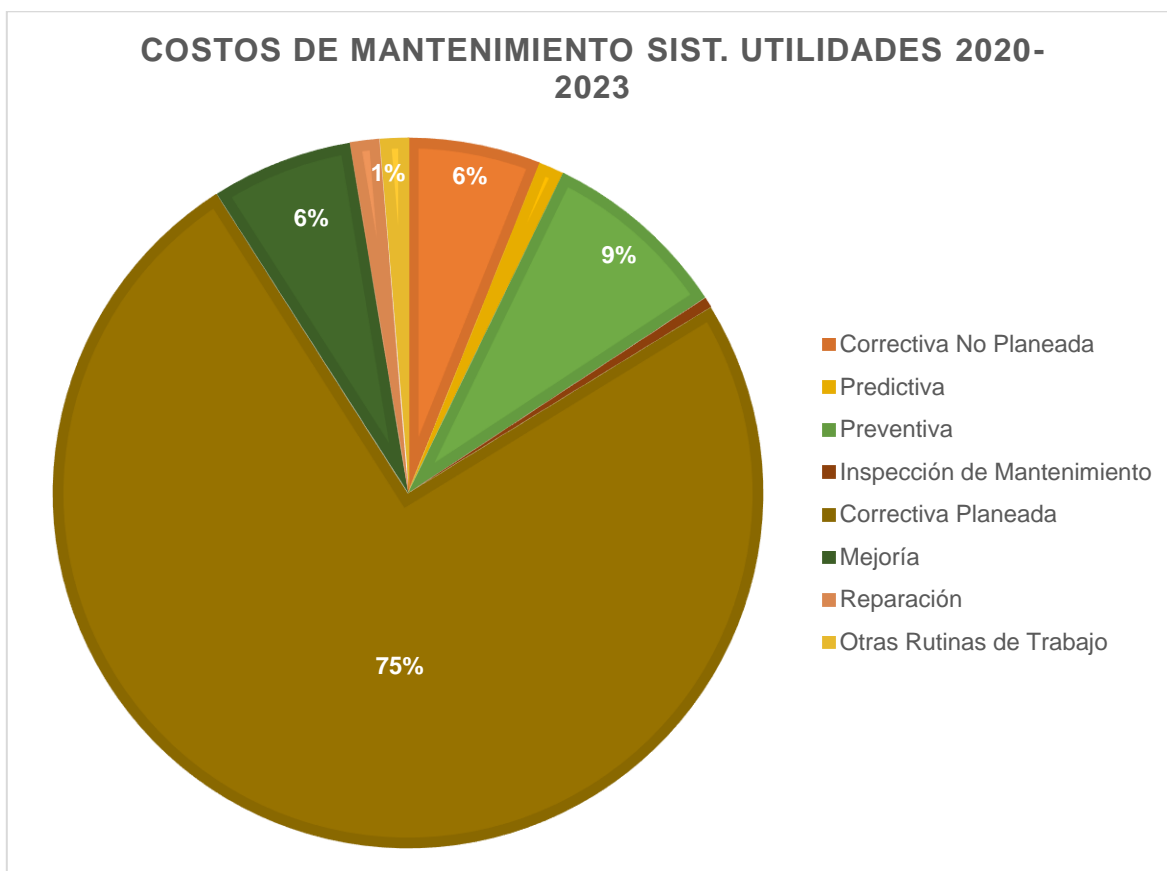


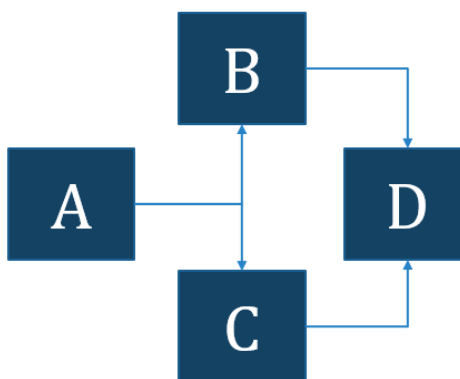
Gráfico 1. Costos de mantenimiento del sistema de utilidades del año 2020 hasta 2023.



Del Gráfico N°1 se puede observar un elevado porcentaje de mantenimiento correctivo, considerando tanto el planificado como no planificado, el cual equivale a un 81% del total de los costos. Esto se encuentra desviado de las directrices de la compañía, proveniente de Gerdau, las cuales buscan trabajar con 80% de mantenimiento preventivo y 20% de mantenimiento correctivo.

Invertir en un plan de mantenimiento preventivo tiene múltiples beneficios, como aumentar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos. Utilizando indicadores para evaluar el estado actual e histórico de los equipos, permite planificar actividades con anticipación, como la selección de personal, herramientas, frecuencia de aplicación, reemplazo de piezas y la coordinación con producción para realizar inspecciones y reparaciones en fechas apropiadas. (Montaña, 2016).

El sistema de utilidades experimenta aproximadamente 30 horas de interrupciones en los últimos 4 años gracias a un sistema de redundancia "Stand by". Este sistema utiliza dos o más componentes con las mismas capacidades, pero solo uno está activo mientras el otro espera ser activado. El tiempo de funcionamiento depende de los operadores, quienes alternan el uso de las máquinas para evitar un desgaste desigual. Teóricamente, esto proporciona una confiabilidad del 100% al sistema. (Zamorano, 2016).



*Ilustración 6. Ejemplo de redundancia “Stan by” en bombas del sistema directo. Elaboración propia*

Como se muestra en la Ilustración N°6, B y C representan las bombas de alimentación, las cuales cumplen con la misma función, la cual es llevar el agua desde el punto A hasta el punto D. Mientras una funciona la otra se encuentra en reposo.

Este sistema evita las paradas no programadas, pero puede generar un efecto adverso al trabajar de forma correctiva, ya que el estado de las maquinas se deteriora a mayor frecuencia al trabajar hasta el fallo, de esta forma los costos de mantenimiento incrementan de forma exponencial y la confiabilidad del sistema disminuye.

## B) Cumplimiento ordenes de mantenimiento

En el sistema de utilidades de la empresa, surge un segundo problema vinculado al cumplimiento de órdenes de mantenimiento preventivo, evidenciando una falta de apego al plan establecido. El índice de cumplimiento se encuentra en un 53%, por debajo de la meta deseada del 80%, según las métricas del SPCM. En cuanto a las órdenes predictivas, preventivas y rutinarias, se aspira a un cumplimiento del 100%, pero hasta ahora solo se ha logrado un promedio del 51%.

La Tabla N°2 muestra una brecha evidente entre el porcentaje real de órdenes ejecutadas y el objetivo ideal de la empresa, centrándose únicamente en las órdenes de mantenimiento preventivo.

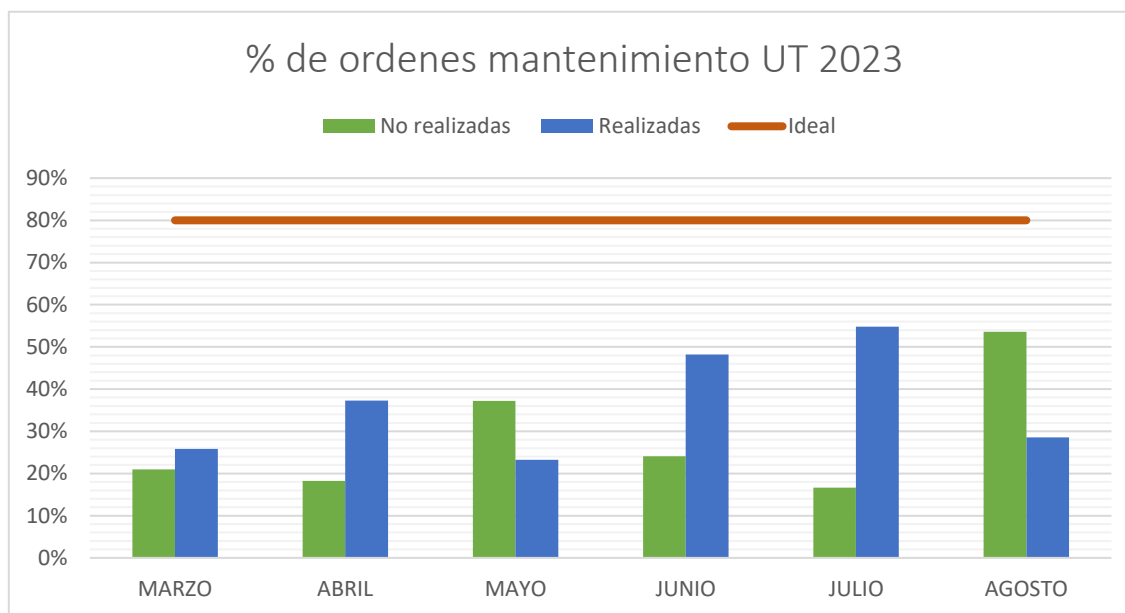
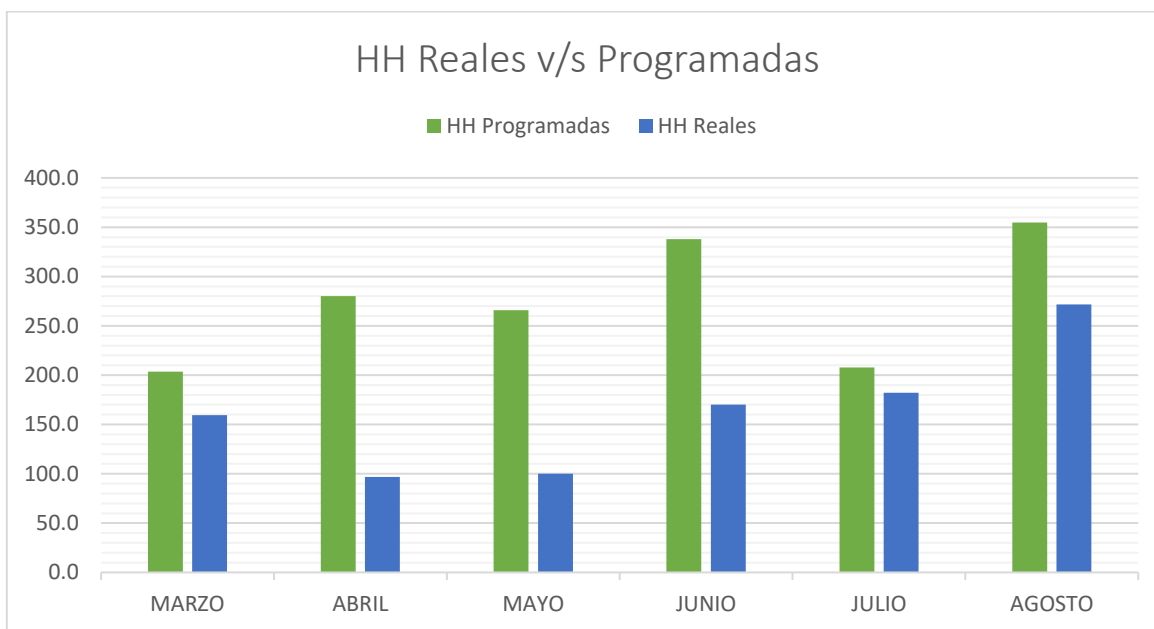


Tabla 2. Distribución de ordenes de mantenimiento mensual, Sistema utilidades 2023. Elaboración propia

El porcentaje restante de órdenes mensuales se completa a través del backlog, el cual consiste en órdenes aún pendientes de programación. Este backlog representa aquellas solicitudes que, por diversas razones, no han sido incorporadas en la planificación regular, esperando ser asignadas y ejecutadas en un momento posterior. En promedio, se realiza un 43% de las ordenes programadas para el sistema de utilidades, un 35% queda como backlog y el 22% restante no se realiza o no es notificado en el sistema.

Al programar las órdenes de mantenimiento mensual se debe considerar tanto la cantidad de órdenes como las horas estimadas para su ejecución. Al examinar la Tabla N°3, se constata que las horas hombre planificadas no concuerdan con las reales, lo cual podría deberse a desafíos en la programación o a inconvenientes en la precisión de la información asociada a cada operación.



*Tabla 3. Horas hombre programadas v/s reales mensualmente, Sistema utilidades 2023. Elaboración propia*

### 1.2.3. Resumen de la problemática

Considerando ambas problemáticas, se infiere que existe un alto porcentaje de trabajo correctivo y una baja tasa de cumplimiento en las órdenes de mantenimiento preventivas. Esta situación plantea un desafío en el seguimiento de fallos y sus posibles causas, generando un impacto evidente en los costos y complicando el análisis necesario para organizar y planificar las futuras órdenes de mantenimiento preventivo. Además, contribuye a la dificultad de establecer un presupuesto debido a la incertidumbre que presentan las fallas no programadas.

## **2. Objetivos**

A continuación, se enuncia el objetivo general del proyecto junto con los objetivos específicos como pasos a realizar para cumplir con el objetivo.

### **2.1. Objetivo general**

Actualizar y mejorar el actual plan de mantenimiento que posee el sistema de utilidades de la empresa AZA; esto con el fin de reducir la brecha en el cumplimiento de las órdenes de mantenimiento preventivo y así reducir los costos de mantenimiento correctivo en el proceso.

### **2.2. Objetivos específicos**

Los objetivos específicos del proyecto son:

1. Mejorar el manejo de la información recaudada en las tareas rutinarias realizada por el personal del sistema de utilidades.
2. Identificar y jerarquizar los equipos del sistema con mayor impacto, de esta forma priorizar los equipos principales.
3. Actualizar plan de mantenimiento para el sistema de utilidades.

### 3. Estado del arte

A continuación, se presenta el marco teórico en que estará basado el proyecto:

#### 3.1. Definición de mantenimiento

Se define mantenimiento como “Todas las acciones necesarias para que un ítem sea conservado o restaurado de modo que permanezca de acuerdo con una condición específica” (Tavares, 2014).

El campo del Mantenimiento desempeña un papel fundamental en el respaldo de los sistemas productivos contemporáneos. Su importancia radica en su capacidad para asegurar que las operaciones funcionen sin contratiempos y de manera eficiente. Al principio, el Mantenimiento abarca tareas aparentemente simples pero cruciales, como la organización de los espacios de trabajo, la limpieza de las máquinas y equipos, la lubricación regular y los ajustes menores que garantizan un funcionamiento adecuado.

A medida que se avanza en este campo, se ingresa a niveles de mayor detalle y sofisticación. Esto abarca la implementación de rutas específicas de inspección y lubricación, las cuales son diseñadas para prevenir problemas antes de que ocurran. Además, se utiliza instrumentación especializada para llevar a cabo mediciones precisas en puntos clave de los sistemas, permitiendo así la detección y corrección oportuna de cualquier desviación.

En un nivel más avanzado, el mantenimiento aprovecha sistemas de adquisición de datos en tiempo real. Estos sistemas monitorean constantemente el estado de las máquinas y equipos, proporcionando información integral sobre su rendimiento. Esto facilita la identificación temprana de problemas potenciales y la toma de medidas correctivas antes de que afecten la producción. (Montaña, 2016)

#### 3.2. Tipos de mantenimiento

Existen metodología o estrategias generales que adoptan las empresas para administrar y ejecutar el mantenimiento. La forma simple es *no hacer* mantenimiento (Mantenimiento correctivo) hasta las formas modernas como Mantenimiento Basado en el Riesgo (MBR). (Montaña, 2016). A continuación, en la Tabla N°4, se presenta la descripción de los tipos de mantenimiento junto con sus ventajas y desventajas de implementar.

<b><i>Tipos de mantenimiento</i></b>	<b><i>Descripción</i></b>	<b><i>Ventajas</i></b>	<b><i>Desventajas</i></b>
<b>Mantenimiento Correctivo</b>	Se interviene al equipo una vez ocurrida la falla de este o que se evidencie la futura ocurrencia de una avería. Esta se subdivide en dos tipos: 1. <i>Correctivo no planificado</i> : Cuando ocurre una falla funcional de manera inesperada. Generalmente produce detenciones o afecta al proceso de producción. 2. <i>Correctivo planificado</i> : Cuando se evidencia una falla potencial.	No implica planificación o programación de mantenimiento. No exige coordinación entre administración y el lado técnico de la empresa. Al corto plazo, es un sistema económico.	Genera fallas funcionales en la maquinaria lo que trae múltiples consecuencias. Al mediano y largo plazo es un sistema muy costoso.
<b>Mantenimiento Programado</b>	Operaciones ejecutadas luego de cierta cantidad de tiempo, en donde se detiene el equipo y se procede a llevar actividades de limpieza, lubricación, desarme, cambio de partes y por último realizar el rearme del equipo. El tiempo de trabajo generalmente es recomendado por el fabricante.	Tiene mayor programación y coordinación que el Mantenimiento Correctivo. Anticipa fallas y reduce su ocurrencia.	El constante desarme de la maquina puede deteriorar su estado al mediano y largo plazo. Genera sobrecostos ya que las partes son cambiadas previo a cumplir su mayor vida útil.
<b>Mantenimiento Preventivo</b>	Tiene como objetivo principal prevenir la ocurrencia de fallas realizando actividades básicas (como observar, inspeccionar, calibrar, ajustar, entre otras) de manera frecuente (determinado del requerimiento del sistema). Estas tareas pueden escalar a operaciones programadas adicionales tales como mantenimiento correctivo programado, modificaciones, overhaul, etc.	Aumenta confiabilidad de las maquinas ya que operan en mejores condiciones de seguridad al conocer su estado y condiciones de funcionamiento. Mayor duración de los equipos e instalaciones. Disminución del tiempo muerto (tiempo de parada de equipos). Menores costos de reparaciones.	Implica una inversión inicial sostenida en infraestructura y mano de obra. En caso de no priorizar las tareas en base a su importancia en el sistema, se puede generar sobre carga de trabajo que no tiene aporte en la producción. Altos costos de inspección.
<b>Mantenimiento Predictivo</b>	Estudio de síntomas de falla y predicción de ocurrencia de fallas de una máquina. Se mide y analizan los cambios en las variables de operación de esta. Se apoya en tecnologías y técnicas específicas tales como: Análisis de vibraciones, Termografías, Análisis de aceites, ensayo de tintas penetrantes, ultrasonidos, entre otros...	Alta posibilidad de anticiparse a la ocurrencia de las fallas, ya que se evidencia el desarrollo de esta en la medida que la variable de referencia se salga de control. No se afecta al proceso productivo ya que las mediciones se hacen con la maquina en funcionamiento. Se minimiza el tiempo de intervención del equipo.	Inversión inicial muy alta. Implica disponer de personal calificado para utilizar el equipo y analizar la información que entrega. Muchas de las técnicas y ensayos pueden indicar la posible falla, pero no su causa.

*Tabla 4. Tipos de mantenimiento. (Montaña, 2016)*

### 3.3. Estrategias de mantenimiento

A continuación, se presentan las principales estrategias de mantenimiento utilizadas por empresas productivas. Cada estrategia se describe junto con sus ventajas, desventajas y el tipo de industria donde se aplica.

<i>Nombre estrategia</i>	<b>Mantenimiento Productivo Total - TPM</b>
<i>Descripción</i>	<p>Implica una filosofía empresarial y personal en donde se busca maximizar la productividad en procesos productivos. Se busca eliminar las seis grandes pérdidas: Daños de las maquinas, largos tiempos de alistamiento, mala calidad de los productos, maquinas funcionando a bajas velocidades, accidentes en planta y contaminación por parte de la planta.</p> <p>El TPM no se centra en máquinas ni equipos, sino en las personas, ya que busca capacitarlas y cambiar su actitud en el trabajo y la visión que estos tienen sobre la vida. Luego estas mismas personas centraran su atención en la producción esperando incrementar la productividad.</p> <p>Los principios básicos de esta estrategia son Mantenimiento Autónomo (participación por parte de los operarios en el proceso de prevención) y 5S (organizar, ordenar, limpiar, estandarizar y disciplina).</p>
<i>Ventajas</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mejora en la productividad mediante el aumento de la disponibilidad.</li><li>• Mejora en la calidad del producto.</li><li>• Reducción de gastos de mantenimiento correctivo.</li><li>• Reducción de costos operativos.</li></ul>
<i>Desventajas</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Largo proceso de implementación debido a capacitaciones.</li><li>• Resistencia al cambio.</li><li>• Inversión en capacitaciones y herramientas de monitoreo.</li><li>• Resultados visibles luego de un largo tiempo de ser implementado.</li></ul>
<i>Uso</i>	Utilizado en la industria de la minería, plantas de energía, manufactura automotriz, industria alimentaria, entre otros...

*Tabla 5. Información sobre el Mantenimiento Productivo Total. (Montaña, 2016)*



<i>Nombre estrategia</i>	<b>Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad - RCM</b>
<i>Descripción</i>	Optimiza la confiabilidad operacional de un sistema que funciona bajo condiciones de trabajo definidas, en función de cuán críticos son los activos, tomando en cuenta los posibles efectos que originarán los modos de falla de dichos activos, sobre la seguridad, al ambiente o a las operaciones. Su objetivo es determinar el estado crítico de los equipos de cualquier proceso y, basados en esta información implementar un Mantenimiento Preventivo/Predictivo para las organizaciones
<i>Ventajas</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mejoramiento de la seguridad y el cuidado del medio ambiente.</li> <li>• Mejora de rendimientos operativos, reduce significativamente la cantidad y severidad de las fallas.</li> <li>• Disminución de costos de mantenimiento rutinario ya que se reduce la cantidad y complejidad de tareas de mantenimiento.</li> <li>• Garantizar vida útil de las maquinas/equipos.</li> <li>• Reducción de carga de trabajo rutinario.</li> <li>• Mejor base de datos de mantenimiento y documentación de los consecuentes planes de acción.</li> </ul>
<i>Desventajas</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proceso de larga duración.</li> <li>• Altos costos de implementación por capacitaciones y análisis completo de la planta.</li> <li>• Resultados se ven reflejados luego un largo periodo de tiempo.</li> </ul>
<i>Uso</i>	Nace para mejorar la seguridad en la industria aeronáutica pero también resulta útil en industrias de minería, plantas petroquímicas, plantas de gas, bombas y compresores en sitios remotos, plantas de fundición y refinación de metales, plantas de pulpa de papel, plantas de alimenticias y de bebida, flotas de camiones de transporte.

*Tabla 6. Información sobre el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. (Montaña, 2016)*

<i>Nombre estrategia</i>	<b>Optimización del Mantenimiento Planeado - PMO</b>
<i>Descripción</i>	<p>Metodología de análisis que permite determinar acciones efectivas y frecuencias adecuadas para el mantenimiento. Busca tareas de mantenimiento en base a la condición del activo y considera modificaciones cuando el mantenimiento preventivo no aplica para el contexto del sistema. Es un método útil de mejorar la eficacia de los planes de mantenimiento ya que identifica que tareas debiesen ser eliminadas o modificadas para adaptarse</p>
<i>Ventajas</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Genera documentación sobre las bases utilizadas para construir el plan de mantenimiento.</li> <li>• Registro de datos.</li> <li>• No requiere modelos complejos matemáticos, solo análisis racional y minuciosos de las tareas de mantenimiento.</li> <li>• Se utiliza como base el conocimiento del personal junto con las tareas que estos realizan. “PMO utiliza tanto las tareas de mantenimiento ejecutadas en los activos como los históricos de los equipos, ya que está diseñado para equipos y sistemas que ya han iniciado su operación comercial.”</li> </ul>
<i>Desventajas</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necesita de la mayor cantidad de información disponible de fallas de los activos desde su fase de operación. De esta forma se generan los listados de modos de falla.</li> <li>• No cumple por completo con estándares internacionales.</li> </ul>
<i>Uso</i>	<p>Utilizado en la industria de petróleo y gas, energía, química, minería, aeroespacial, automotriz, entre otras.</p>

*Tabla 7. Información sobre Optimización del Mantenimiento Planeado. (Ponce, 2018)*

## 4. Propuestas y solución

Frente al problema previamente expuesto, se proponen dos alternativas que podrían atenuar la situación actual, disminuyendo la brecha de incumplimiento y el porcentaje de mantenimiento correctivo llevado a cabo en la empresa:

En primer lugar, se tiene la implementación de la estrategia TPM (Total Productive Maintenance), la cual representa una valiosa oportunidad al fomentar la participación integral de todo el personal en la organización. Centrándose en mantener tanto espacios como activos en condiciones óptimas, la estrategia busca la intervención activa de los trabajadores en las operaciones cotidianas. Este enfoque no solo abarca el mantenimiento físico de los activos, sino que también promueve una cultura colectiva de cuidado y conservación de equipos esenciales, contribuyendo así a la eficiencia y durabilidad de los activos (Andia, 2017).

A pesar de estos beneficios, la implementación efectiva de TPM conlleva desafíos inherentes, principalmente el tiempo necesario para completar las capacitaciones y ejecuciones en todas las áreas de la estrategia. La formación exhaustiva y la implementación gradual son esenciales para asegurar la comprensión y adhesión adecuadas de todo el personal, lo que podría traducirse en una demora antes de observar los resultados plenos de la estrategia.

En segundo lugar, se contempla la posibilidad de implementar el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, que tiene como objetivo determinar el estado crítico de los equipos en cualquier proceso y, en función de esta evaluación, aplicar un enfoque de mantenimiento preventivo (Montaña, 2016). Se asegura el cumplimiento de la vida útil de los activos al enfocar los recursos en los elementos críticos, aumentando así la confiabilidad y disminuyendo las tareas redundantes. Además, se mejora la base de datos de mantenimiento mediante la aplicación de análisis AMEF (Análisis de Modo y Efecto de la Falla). No obstante, es importante señalar que esta solución podría no ser ideal para el contexto del problema, ya que requiere una cantidad significativa de información sobre el historial de fallas de los equipos, la cual no está disponible. Aunque se cuenta con información sobre los costos de mantenimiento, la misma puede ser analizada para determinar la concentración de costos, pero no proporciona información sobre la criticidad de los activos.

Por otro lado, se tiene la implementación de PMO (Optimización del Mantenimiento Preventivo). Esto podría tener un impacto significativo en el mantenimiento de los equipos ya que busca mejorar los planes de mantenimiento existentes al eliminar tareas que no son costo efectivas y actualizar aquellas que requieren ajustes para adaptarse al contexto específico de la planta. Se propone la introducción de puntos de recolección de información para prever el comportamiento de los equipos a lo largo de su ciclo de vida. Además, se plantea la posibilidad de jerarquizar la criticidad de los equipos según su impacto en el área, contribuyendo a una gestión más eficiente (Ponce, 2018).

Cabe señalar que la implementación de la estrategia de Optimización del Mantenimiento Planeado requiere una adaptación de esta metodología al contexto específico del sistema de utilidades. A diferencia de un análisis convencional de modos de falla, se enfoca en un análisis de impacto fundamentado en los costos de mantenimiento registrados en las órdenes gestionadas por el sistema SAP. Esto se debe principalmente a la limitada disponibilidad de información histórica sobre fallas, contando principalmente con registros de costos históricos asociados a cada ubicación técnica del sistema.

En conclusión, la opción de actualizar los planes de mantenimiento preventivo mediante la táctica PMO se destaca como la alternativa más favorable, considerando el contexto del sistema de utilidades de la planta de Colina de AZA. Esta elección se fundamenta en la eficiencia temporal requerida para su implementación y su enfoque en la mejora del estado actual de los planes, lo que generará un impacto directo en el cumplimiento de las órdenes de mantenimiento. La reducción de los costos asociados al mantenimiento correctivo será una consecuencia directa de un mejor control sobre el estado operativo de los equipos.

## 5. Metodologías

La metodología propuesta por “Optimización del Mantenimiento Planeado” se estructura en base a los objetivos específicos planteados anteriormente.

Para lograr el primer objetivo se debe:

1. Levantar y digitalizar las tareas rutinarias de los mecánicos, electrónicos y operadores del área para registrar el cumplimiento de estas junto con la información recolectada sobre el estado del sistema.
2. Validación de datos propuestos.
3. Agregar estas tareas en el SAP como PM04 (Rutinarias) para que luego su cumplimiento pueda ser ingresado al sistema.

Para lograr el segundo objetivo se debe:

1. Estudio histórico de costos y fallas en equipos del sistema de utilidades.
2. Clasificar e identificar los equipos con mayores tendencias a fallar o que generen mayores pérdidas para la empresa.

Para lograr el tercer objetivo específico se debe:

1. Levantar información actual de planes de mantenimiento en SAP
2. Hablar con operadores, mecánicos y electrónicos del área para modificar la información y poder borrar, actualizar o agregar las órdenes respectivas. Esto abarca modificar la frecuencia de la tarea, cantidad de personal, duración de la tarea y descripción de la orden.
3. Aprobación de cambios por parte de gestores de la empresa

## 6. Indicadores de desempeño

Para el desarrollo de este proyecto de pasantía se consideran las siguientes medidas de desempeño enfocadas en la distribución de costos y en el cumplimiento de las ordenes de mantenimiento programado.

1. Porcentaje de planes de mantenimiento preventivo actualizados

$$\frac{\# \text{ de planes de mtto preventivo actualizados}}{\# \text{ total de planes de mtto preventivo}} \times 100$$

Tiene la función de medir el porcentaje de planes que fueron actualizados, ya sea modificado, eliminados o añadidos al sistema SAP.

2. Porcentaje de cumplimiento de mantenimiento

$$\frac{\# \text{ de mtto. ejecutados}}{\# \text{ de mtto. planificado}} \times 100$$

Tiene la función de medir el porcentaje de órdenes que fueron cumplidas con respecto a las que fueron planificadas.

3. Porcentaje de mantenimiento correctivo

$$\frac{\# \text{ de mtto. correctivo}}{\# \text{ de mtto. preventivo} + \# \text{ de mtto. correctivo}} \times 100$$

Tiene la función de medir el porcentaje de mantenimientos correctivos realizados con respecto al total de órdenes de mantenimiento.

## 7. Desarrollo del proyecto

A continuación, se presenta el desarrollo de los objetivos específicos planteados anteriormente junto con su planificación y riesgos de implementación.

### 7.1 Plan de implementación

En la Ilustración N°7 se presentan los hitos clave para la realización del proyecto, desde el estudio de costos junto con su jerarquización hasta la creación y modificación de planes de mantenimiento preventivo y rutinarios.

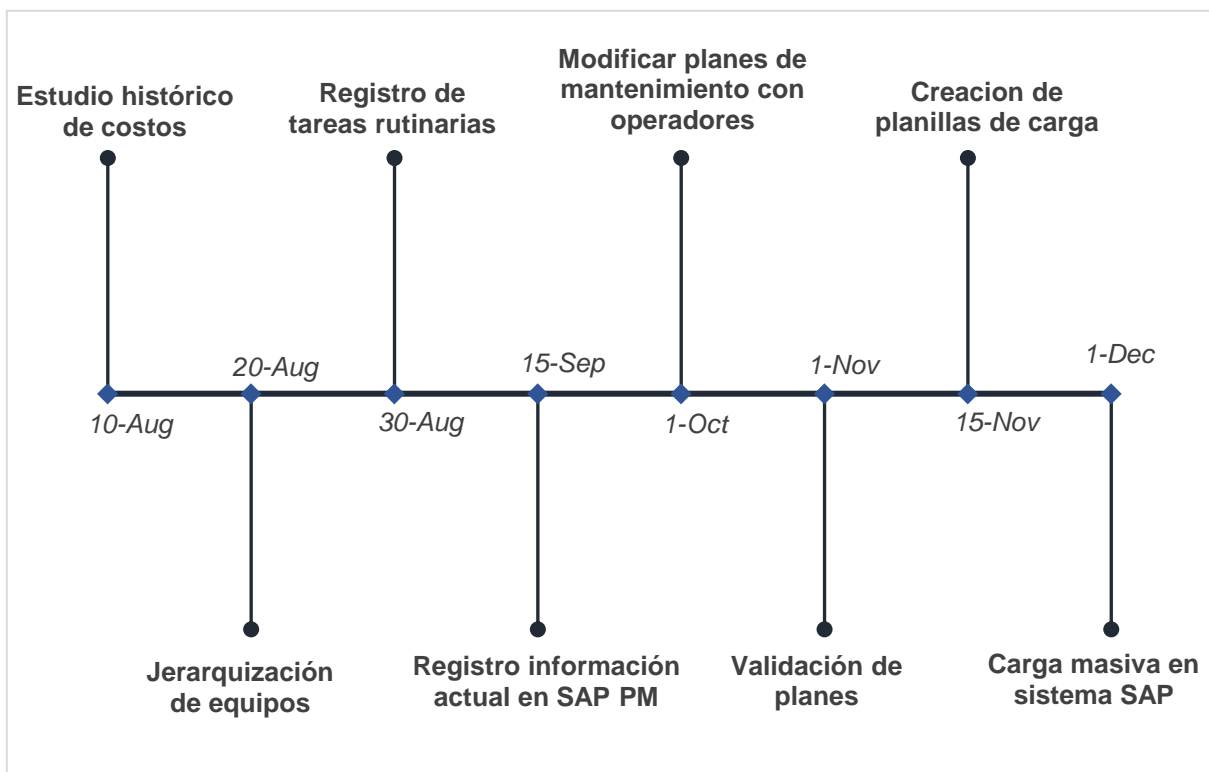


Ilustración 7. Plan de implementación, hitos del proyecto. Elaboración propia

## 7.2. Riesgos y mitigaciones

Durante el desarrollo del proceso de implementación, es probable que surjan diversos desafíos, tanto internos como externos a la empresa. Con el propósito de anticipar y abordar estas eventualidades, se ha elaborado una lista detallada de riesgos potenciales, acompañada de estrategias específicas de mitigación. La matriz de riesgo (Tabla N°8) empleada cuantifica la probabilidad de que ocurran estos riesgos y evalúa su impacto. El formato utilizado se ha obtenido a través de las prácticas establecidas en la empresa AZA (Anexo C)

MATRIZ DE CRITICIDAD			IMPACTO			
			Catastrófico	Crítico	Moderado	Bajo
			5	3	2	1
PROBABILIDAD	Casi seguro	4				
	Probable	3			No hay información	
	Posible	2		Poco tiempo de actualización	Indisponibilidad operadores	
	Improbable	1		Operadores sin conocimientos sobre SAP		

Tabla 8. Matriz de Criticidad



En base a esto se proponen posibles mitigaciones para abordar los riesgos:

1. No hay información: En caso de faltar información sobre el mantenimiento ideal de un activo, se contactará a los proveedores correspondientes para obtener la información de una fuente confiable.
2. Indisponibilidad operadores: Si los operadores se encuentran con poca disponibilidad para una reunión, se informará al supervisor correspondiente para habilitar un espacio.
3. Poco tiempo de actualización: En caso de no tener tiempo para actualizar todos los planes, estos serán cargados al sistema SAP de forma manual en una segunda etapa del proyecto.
4. Operadores sin conocimientos sobre SAP: La empresa AZA esta encargada de capacitar a sus trabajadores para generar órdenes y pedir repuestos mediante SAP, por lo que, en caso de haber problemas, se realizara capacitaciones especializadas.

### 7.3. Jerarquización de activos

Para el desarrollo del estudio de costos, respecto al mantenimiento realizado en el sistema de utilidades, se consideró la información histórica recolectada por SAP desde el año 2020 hasta 2023. Las órdenes de mantenimiento fueron filtradas por clase de orden y ubicación técnica, de esta forma se pudo determinar los equipos con mayor impacto en el sistema. En el Anexo B, se presentan en mayor detalle los costos y cantidad de ordenes de cada tipo de mantenimiento

El principal problema generado durante la investigación fue la ubicación de los costos, ya que existen órdenes de mantenimiento, creadas por los operadores, que tienen asignada una ubicación técnica o tipo de orden errónea y se presentan casos en donde se detalla poca información en términos del área o equipo.

Para determinar qué áreas tuvieron mayor impacto, se consideraron dos variables; costos de mantenimiento y cantidad de ordenes de mantenimiento. A continuación, en la Tabla N°9 se presenta el gráfico de cuadrantes utilizado para el análisis.

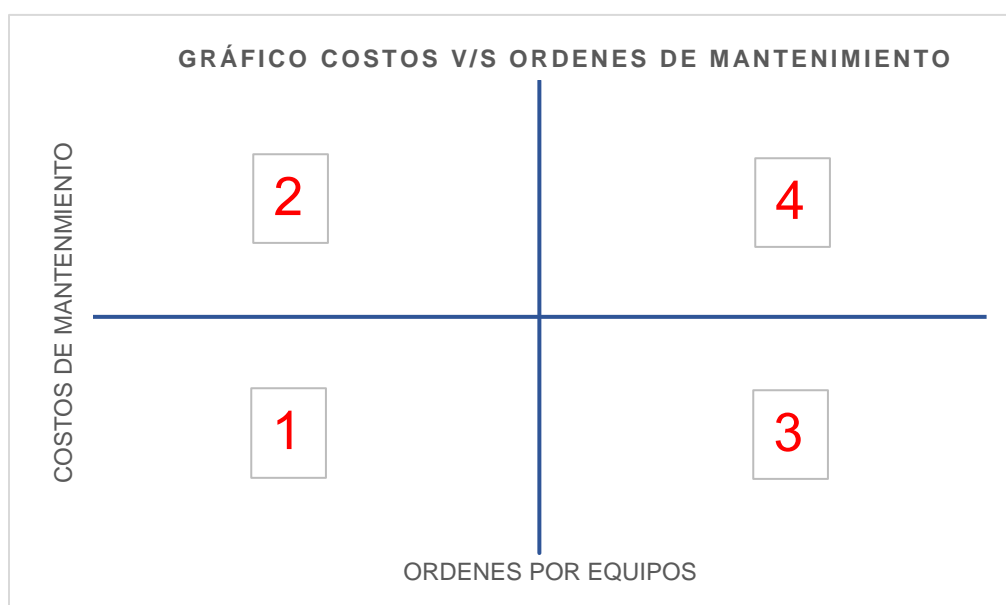
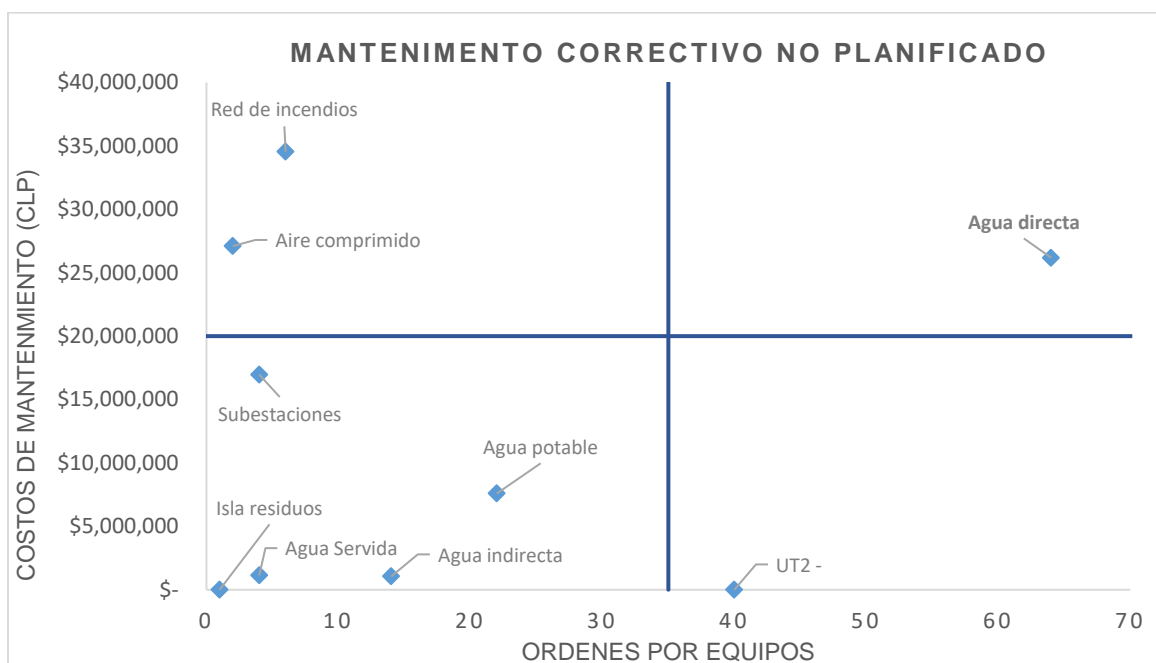


Tabla 9. Gráfico jerarquización de equipos

El primer cuadrante abarca los equipos de bajo impacto, destacándose por la baja cantidad de costos y órdenes asociadas. En contraste, el segundo cuadrante exhibe equipos con escasas órdenes, pero elevados costos, atribuibles a fallos de gran impacto que justificaron una significativa inversión para restaurar la funcionalidad del equipo. El tercer cuadrante incluye equipos con un elevado número de órdenes, aunque su impacto global es moderado debido a los bajos costos asociados. El cuarto cuadrante se cataloga como equipo de gran impacto, ya que presenta tanto costos elevados de mantenimiento como un número considerable de órdenes de mantenimiento.



*Tabla 10. Estudio de costos v/s ordenes mantenimiento. Mantenimiento correctivo no planificado*

En base a la información proporcionada en la Tabla N.º 10, se puede inferir que el Sistema de Agua Directa se encuentra de manera exclusiva en el cuarto cuadrante en lo que respecta al mantenimiento correctivo no planificado. Esta particular ubicación sugiere que este sistema sobresale tanto en términos de la cantidad de fallos no previstos como en los costos asociados a dichas incidencias. Este contraste es especialmente evidente al compararlo con la red de incendios, donde se observa una concentración de los mayores costos derivados de fallos operativos puntuales.

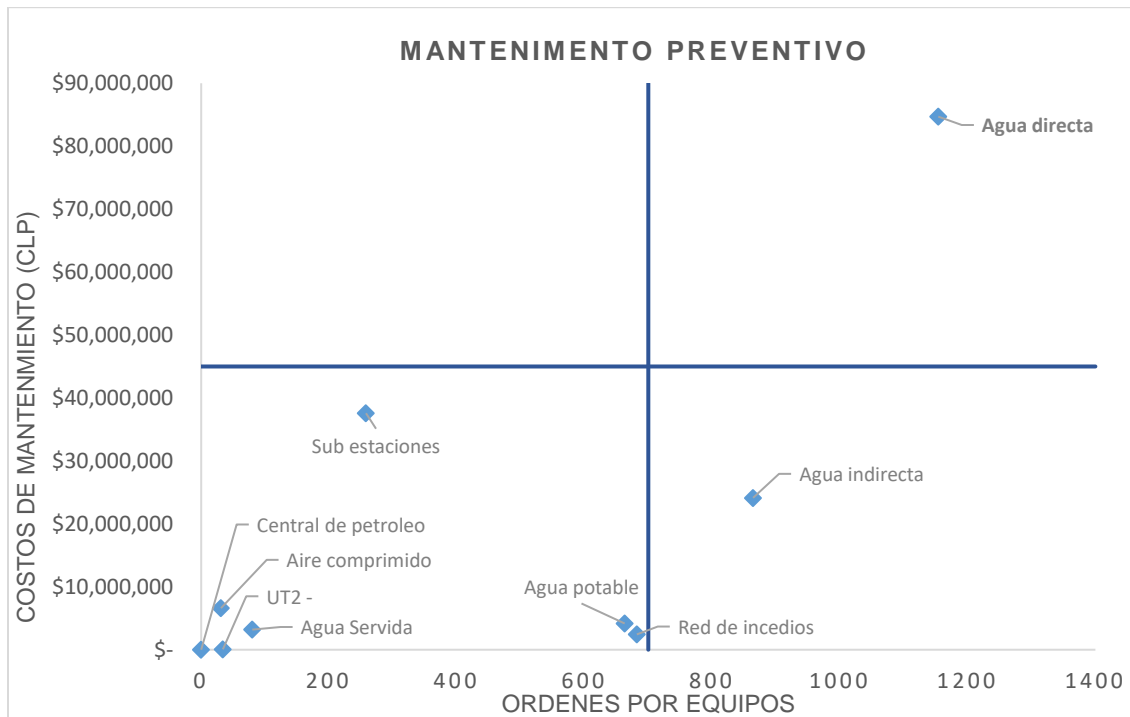


Tabla 11. Estudio de costos v/s ordenes mantenimiento. Mantenimiento Preventivo

Según los datos presentados en la Tabla N.º 11, se deduce que el Sistema de Agua Directa se sitúa exclusivamente en el cuarto cuadrante en relación con el mantenimiento preventivo. Este posicionamiento singular indica que este sistema destaca tanto por la cantidad de órdenes de mantenimiento por área como por los costos asociados a estas operaciones preventivas. Esta diferencia es notoria al contrastarlo con el sistema de agua indirecta, donde se observa una concentración de órdenes de mantenimiento, pero con un costo asociado significativamente menor.

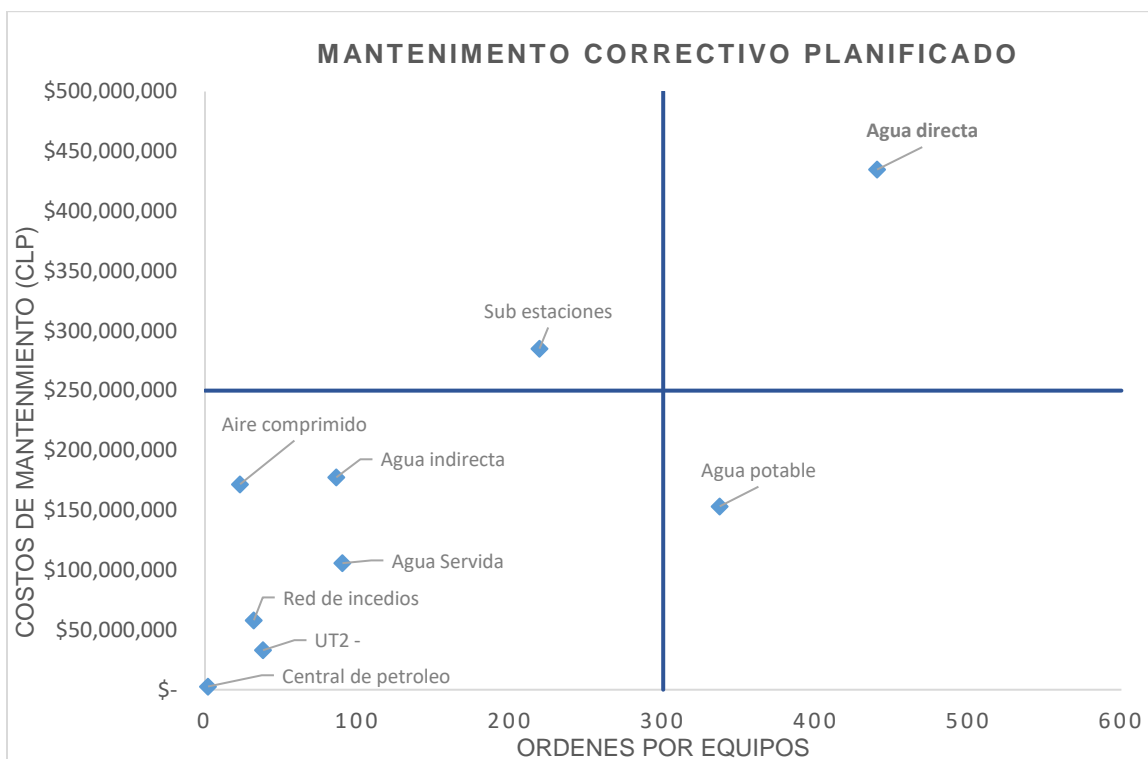


Tabla 12. Estudio de costos v/s ordenes mantenimiento. Mantenimiento correctivo planificado

Basándonos en la información presentada en la Tabla N.º 12, se desprende una vez más que el “Sistema de Agua Directa” se encuentra de manera exclusiva en el cuarto cuadrante en relación con el mantenimiento correctivo planificado. Este posicionamiento particular sugiere que este sistema destaca tanto en términos de la cantidad de fallos no previstos como en los costos asociados a dichas incidencias. Se observa que el área de subestaciones genera costos en proporción a las pocas órdenes, mientras que el sistema de agua potable presenta múltiples órdenes con costos asociados inferiores.

En conclusión, se determina que el “Sistema de Agua Directa” es el área con mayor impacto en los costos de mantenimiento, seguido del “Sistema de Agua Indirecta” y la “Planta de tratamiento de agua potable”. En base a esta información, se lleva a cabo la actualización y creación de planes de mantenimiento preventivo y rutinario.

## 7.4. Actualización de planes de mantenimiento preventivo

Para ejecutar el proceso de actualización de planes, se optó por dividir esta fase del proyecto en tres etapas distintas. Inicialmente, se procede a **recopilar la información** de los planes actuales directamente desde el sistema SAP. En esta etapa, se organiza meticulosamente la información de cada operación, incluyendo su hoja de ruta y plan correspondiente.

En una segunda instancia, se lleva a cabo la **actualización del plan**, lo que implica la posibilidad de eliminar, agregar o modificar la información de cada operación. Se tienen en cuenta factores clave como la duración de la tarea, la cantidad de personal requerido, la descripción y la frecuencia. Para realizar esta etapa, se recopila la información necesaria principalmente con la ayuda de los colaboradores del sistema de utilidades, respaldada por el apoyo de manuales de equipos recientemente integrados al proceso.

Finalmente, la **carga masiva** constituye la última fase del proceso. Para llevar a cabo esta etapa de manera eficiente, se cuenta con la asistencia de una empresa externa especializada. Esta entidad se encarga de la programación y carga de datos en el sistema SAP, utilizando las planillas de carga proporcionadas para su integración en el sistema de la empresa. En el Anexo D se explican las variables de interés en la planilla de carga junto con ejemplos relacionados a su uso.

La Ilustración N.º 8 presenta la composición de un plan de mantenimiento, desde la clave modelo hasta la orden de mantenimiento.

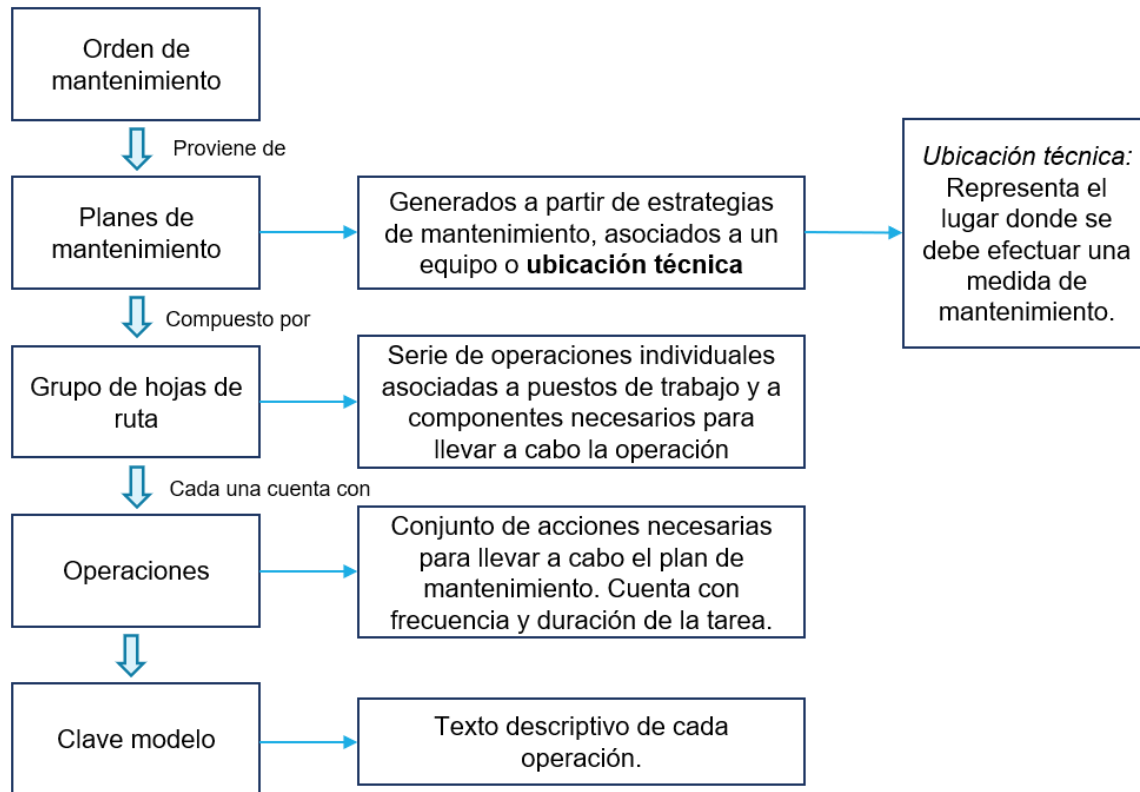


Ilustración 8. Descripción estructura planes de mantenimiento. Fuente: Martínez, 2021 y Yolanda, 2019

## 7.5. Tareas rutinarias en sistema de utilidades

El sistema de utilidades de la empresa AZA, que comprende la planta de tratamiento de agua industrial, planta de tratamiento de agua potable, planta de tratamiento de agua servida, sala de termos y red de incendios, está actualmente gestionado por un operador, un mecánico y cuatro electricistas de turnos. Su responsabilidad incluye la realización de mantenimiento e inspecciones rutinarias en los equipos para garantizar su correcto funcionamiento. No obstante, la falta de una estructura definida para estas tareas y la ausencia de un registro formal generan una pérdida de información y control sobre el estado de los equipos.

Con el objetivo de remediar esta situación, se busca implementar un sistema de registro de tareas rutinarias en el sistema SAP. Esta iniciativa permitirá mantener un histórico de las tareas realizadas y, con el fin de optimizar el proceso de carga de información, se propondrá una solución que involucre el uso de dispositivos móviles para ingresar datos en terreno.

La creación de tareas rutinarias, al igual que el proceso de actualización de planes, implicó registrar información proporcionada por los operadores del área sobre el funcionamiento óptimo y consultar los manuales de uso de cada equipo. Esto permite establecer los parámetros a considerar durante la inspección del área, así como el rango de valores admisibles antes de que se presente una falla.

El registro detallado de estos parámetros proporciona un historial del estado de los equipos. Esto permite comprender mejor su comportamiento y facilita la identificación temprana de posibles problemas. Al monitorear estos datos, el equipo de mantenimiento puede actuar de manera proactiva, abordando las causas de las fallas antes de que se vuelvan más críticas.



## 8. Evaluación económica

El sistema de utilidades de la empresa AZA tiene la función de brindar apoyo al proceso de producción mediante la refrigeración de los equipos (sistema indirecto) y la refrigeración de la palanquilla, tanto en acería como en el laminador (sistema directo). En caso de que el sistema de aguas llegase a fallar, tanto el laminador como acería se verán propensos a frenar la producción. Esto es debido al daño que puede generarse en los equipos en caso de trabajar sin refrigeración o con una dureza del agua mayor a la admisible.

### 8.2. Rentabilidad del proyecto

El retorno a la inversión fue cuantificado mediante los siguientes supuestos:

- En base al objetivo general, se considera una reducción en los costos de mantenimiento correctivo (desde el año 2019 hasta 2023) y que estos costos se mantienen fijos durante los periodos futuros.
- La tasa de descuento utilizada en la evaluación fue del 14%, la cual es la tasa utilizada por la empresa AZA.
- La implementación del proyecto supone una reducción de costos de mantenimiento por área, la cual es calculada en base a la cantidad de planes de mantenimiento actualizados. Se consideran tres casos de reducción, uno conservador, un caso moderado y, por último, un caso optimista.
- La inversión inicial equivale a la mano de obra contratada para realizar el proyecto, lo cual equivale a \$2.550.000 CLP.
- La tasa de retorno (TIR) no es calculada en esta evaluación ya que, al ser una inversión de menor cantidad en relación con la reducción de costos, el valor de esta tasa sería extremadamente alta ( $TIR > 1500\%$ ).
- El proyecto no impacta en los ingresos ni en los costos variables de la empresa. En consecuencia, se genera un flujo de caja incremental destinado a la comparación de los costos fijos entre la situación con el proyecto y la situación sin el proyecto.
- La disminución de gastos en el mantenimiento correctivo no se percibe como una ganancia, dado que se considera que dichos costos sean asignados al mantenimiento preventivo del sistema de aguas.

En la Tabla N°13, se presenta la reducción promedio de cada área en los tres casos considerados para el estudio. En el Anexo C se presenta la reducción de costos y el porcentaje de reducción en cada caso.

<b>Caso de estudio</b>	<b>Reducción promedio</b>
Conservador	9%
Moderado	13%
Optimista	20%

*Tabla 13. Reducción de costos de mantenimiento correctivo por caso*

Con el fin de hacer una evaluación económica del proyecto plan de mantenimiento, se buscó cuantificar económicamente su viabilidad, para esto se calculó el valor presente neto (VPN) asociado a la inversión. Para construir este indicador se necesitan 3 componentes: inversión inicial, tasa de descuento y el flujo que generará la inversión en los periodos posteriores. Como esta intervención en particular no genera ingresos monetarios cuantificables, el flujo a utilizar será la diferencia entre los costos asociados al mantenimiento correctivo sin proyecto y los costos de mantenimiento correctivo con proyecto, por lo tanto, el flujo representará la reducción de costos que tendrá la empresa gracias al plan de mantenimiento implementado. Esto se proyectó en 5 y 10 años lo cual se demuestra en la Tabla N°14. Se utiliza la letra "M" para representar millones de pesos chilenos (CLP).

<b>Caso de estudio</b>	<b>VAN (5 años)</b>	<b>VAN (10 años)</b>
Conservador	124 M	190 M
Normal	188 M	287 M
Optimista	282 M	431 M

*Tabla 14. Valor actual neto de casos de estudio.*

Es necesario tener en cuenta que la implementación de un plan de mantenimiento, así como la realización de inspecciones rutinarias, puede requerir un periodo de adaptación por parte de los colaboradores. Este ajuste en los procesos podría influir en el tiempo estimado para recuperar la inversión inicial del proyecto.

Se puede concluir que, con tal de reducir los costos de mantenimiento correctivo en un 0,16% (promedio), considerando los supuestos anteriormente planteados, el proyecto tendrá  $VAN > 0$  lo que asegura la rentabilidad del proyecto.

## 9. Entregables y resultados esperados

Como resultado final del proyecto, se tiene como entregable las **planillas de carga** de los planes de mantenimiento preventivo y rutinario. En el Anexo D se presenta el formato de las planillas de carga junto con la explicación de sus variables.

La implementación de estos planes en el sistema SAP tiene como objetivo reducir la brecha de incumplimiento de órdenes de mantenimiento y mejorar el control de la información mediante la incorporación de tareas rutinarias. Este enfoque integral proporcionará a la empresa una mayor eficiencia en la gestión de activos y un seguimiento más preciso de las actividades de mantenimiento, contribuyendo así a la optimización general de las operaciones.

A continuación, se presenta el resumen de las modificaciones realizadas en los planes de mantenimiento preventivo, detalladas en la Tabla N°15. Cada plan asignado a los equipos del sistema de utilidades ha experimentado ajustes, abarcando cambios en la asignación de subequipos, descripción de tareas, frecuencias y/o tiempos de trabajo. Es relevante señalar que, en el caso específico de la Central de petróleo y el Clarificador (Agua directa), fue necesario crear los respectivos planes desde cero debido a su reciente incorporación en el sistema.

Resultados planes de mantenimiento preventivo						
Ubicación técnica	Hojas de ruta			Operaciones		
	Total	Eliminados	Añadidos	Total	Eliminados	Añadidos
Agua directa	30	3	5	158	17	24
Agua indirecta	5	1		27	3	
Agua potable	5			35	6	5
Agua servida	2			11	4	5
Subestaciones	10	2		39	10	1
Red de incendios	5	3		26	12	
Central de petróleo	3		3	10		10
Total	60	9	8	306	52	45

*\*Las filas representan la cantidad de hojas de ruta y operaciones modificadas por área.*

*Tabla 15. Resultados planes de mantenimiento preventivo. Elaboración propia*

La tabla N°16 detalla la cantidad de hojas de ruta creadas para la inspección rutinaria del operador. Las operaciones incluyen rangos de inspección y puntos clave a observar, como fugas de aire, aire o aceite, y sonidos u olores inusuales. Se registran valores como presiones (para bombas, sopladores de aire, filtros de arena, etc.), caudal (ablandadores, red de incendio, bomba de pozo, etc.), calidad del agua en las piscinas, entre otros. Con esta información se busca anticipar a las fallas y actuar de forma predictiva y no correctiva.

Resultados inspección rutinaria		
Ubicación técnica	Hojas de ruta	Operaciones
Agua directa	9	24
Agua indirecta	2	9
Agua potable	4	14
Agua servida	2	6
Red de incendios	1	2

*\*Las filas representan la cantidad de hojas de ruta y operaciones creadas por área.*

*Tabla 16. Resultados planes inspección rutinaria. Elaboración propia*

Se espera obtener los siguientes resultados luego de cumplir un año de operación posterior a la implementación del proyecto:

- *Reducción de costos:* Al actualizar los planes e implementar la recolección de datos en terreno, se asegura la realización de los planes preventivos y rutinarios. Esto reduce el backlog de ordenes de mantenimiento y mantiene registro del estado de los activos. De esta forma se disminuyen los costos adicionales al trabajar de forma correctiva.
- *Mejora de calidad:* Al asegurar el correcto funcionamiento del sistema de agua, se asegura una calidad optima del agua, ya sea en temas de distribución a lo largo de la planta como su ppm, el cual debe estar bajo los rangos admisibles.
- *Medio ambiente:* El correcto funcionamiento del sistema de utilidades asegura la recirculación del agua. Mientras más ciclos sean realizados, mayor será el beneficio obtenido del agua de pozo lo que implica menos purgas realizadas al estero.
- *Seguridad operacional:* Al garantizar la calidad del agua se evitan problemas con los sistemas de refrigeración tanto en acería como en el laminador. De esta forma se respeta la vida útil de los activos industriales y se evitan las fallas.

## 10. Discusión y conclusión

La implementación del proyecto en el Sistema de Utilidades de la empresa AZA generará un impacto significativo en la programación del mantenimiento preventivo. Este impacto se traducirá en una reducción sustancial de la brecha en el cumplimiento de estas órdenes, lo que, a su vez, contribuirá a la disminución de los costos asociados al mantenimiento correctivo. Asimismo, se llevó a cabo un análisis para determinar los equipos que tenían un impacto más significativo en los costos, proporcionando así una base sólida para estrategias de mantenimiento más eficientes y rentables.

A pesar de los desafíos actuales en el sistema de utilidades, caracterizados por problemas de cumplimiento y un elevado porcentaje de mantenimiento correctivo, se identifica una oportunidad valiosa para implementar el proyecto tanto en la laminación como en la acería, dada la antigüedad de estos planes. La propuesta implica eliminar el uso de checklist físicos y adoptar la práctica de registrar las tareas rutinarias mediante SAP. Se sugiere, además, la implementación de un sistema móvil que permita un registro ágil de esta información en el terreno, agilizando así el proceso de registro de órdenes de mantenimiento por parte de los operadores del área. Este enfoque no solo aborda los problemas actuales, sino que también introduce mejoras significativas en la eficiencia y la velocidad de registro.

Como se señaló anteriormente, la implementación del proyecto conlleva un impacto positivo en el medio ambiente al favorecer la recirculación del agua en la mayor medida posible, lo que resulta en una significativa reducción del consumo de agua de la empresa, un recurso escaso en la actualidad. Además, este enfoque beneficia la salud de los operadores al reducir la probabilidad de fallas en los equipos, disminuyendo así la necesidad de intervenciones para mantener el proceso en orden. Esta disminución en las intervenciones se traduce en una menor tasa de accidentes laborales, mejorando la seguridad y el bienestar de los trabajadores.

## 11. Referencias

- Andia, V. (2017). *Propuesta de implementación de un plan de mantenimiento de equipos bajo las técnicas del TPM en una empresa constructora*. Lima: Universidad Peruana de Ciencias aplicadas.
- AZA Acero Sostenible. (Octubre de 2023). *AZA Acero Sostenible*. Obtenido de <https://www.aza.cl/>
- Chumai, R. (2009). *System Dynamic Modeling of Plant Maintenance Strategy*. Chonburi: Asian University.
- Fernandez, J. A. (2020). *Matriz de criticidad AZA*. Santiago: Documento interno de la empresa.
- Garro, E. (2017). *7 Herramientas de la calidad*. San Rafael: PXS School of Excellence.
- Mallqui, E. G. (2016). *IMPLEMENTACION DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN FUNCIÓN DE LA CRITICIDAD DEL PROCESO PRODUCTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LA EMPRESA UESFALIA ALIMENTOS S.A.* Lima: Universidad Privada del Norte.
- Martínez, A. J. (2021). *Predictiva 21*. Obtenido de <https://predictiva21.com/planificacion-mantenimiento-pm-sap/>
- Montaña, C. A. (2016). *Fundamento de Mantenimiento industrial*. Pereira: Colección Textos Académicos Facultad de Tecnología.
- Palma, C. R. (2011). *Revista De Ciencias Económicas*. Obtenido de <https://doi.org/10.15517/rce.v29i1.7061>
- Ponce, A. (2018). *OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PLANEADO EN UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE BEBIDAS CARBONATADAS*. Piura: Universidad de Piura.
- SAP. (Octubre de 2023). *¿Qué es SAP HANA?* Obtenido de <https://www.sap.com/latinamerica/products/technology-platform/hana/what-is-sap-hana.html#:~:text=Adem%C3%A1s%20de%20actuar%20como%20servidor,%E2%80%93estructurados%20y%20no%20estructurados%E2%80%93>
- Tavares, L. (2014). *Administración Moderna de Mantenimiento*. Brasil: Novo Polo.
- Yolanda, V. (8 de Enero de 2019). *Oreka i.t.* Obtenido de <https://orekait.com/blog/que-es-ubicacion-tecnica-sap-pm/#:~:text=Las%20ubicaciones%20t%C3%A9cnicas%20SAP%20PM,%3A%20Espaciales%20C%20T%C3%A9cnicas%20o%20funcionales>.
- Zamorano, Y. (2016). *Modelamiento dinámico de confiabilidad y propuesta metodología*. Santiago: Universidad Técnica Federico Santa María.

## 12. Anexos

### Anexo A. Jerarquización de activos

#### 1. Análisis Mantenimiento Correctivo no Planificado

Mantenimiento Correctivo no Planificado		
Ubicación técnica	Suma de costos (CLP)	Cantidad órdenes
Red de incendios	\$ 34,548,767	6
Aire comprimido	\$ 27,106,873	2
Agua directa	\$ 26,183,531	64
Subestaciones	\$ 16,967,021	4
Agua potable	\$ 7,588,082	22
Agua Servida	\$ 1,134,500	4
Agua indirecta	\$ 1,049,981	14
UT2 -	\$ -	40
Isla residuos	\$ -	1
<b>Total</b>	<b>\$ 114,578,755</b>	<b>157</b>

*Tabla 17. Costos órdenes de mantenimiento correctivo no planificado*

En base a la información de la Tabla N°17, se pueden determinar las áreas con mayores costos de mantenimiento correctivo no planificado junto con la frecuencia de órdenes. Cabe destacar que este tipo de mantenimiento responde a fallas con necesidad de atención inmediata.

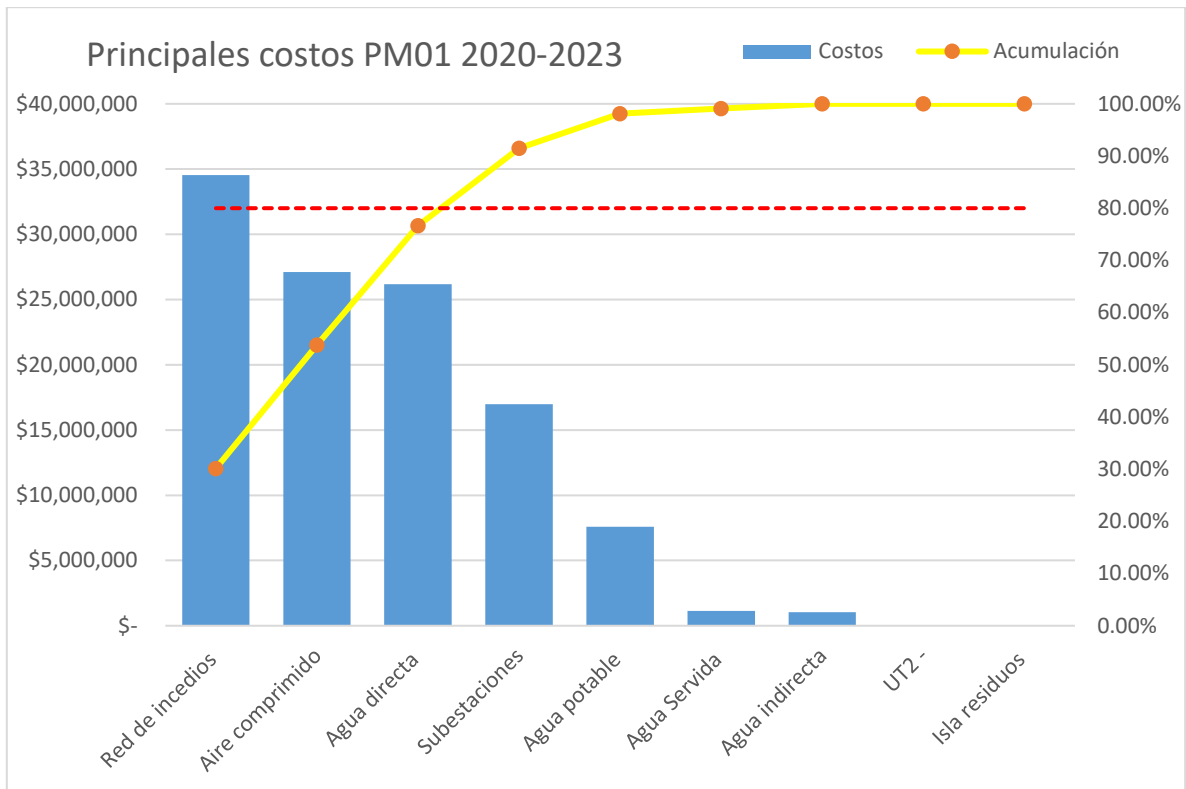


Tabla 18. Pareto costos PM01 2020-2023

La Tabla N°18 indica que el 80% de los costos fueron generados por 3 áreas, la red de incendios, aire comprimido y agua directa. El área UT2 hace referencia a las órdenes de mantenimiento que fueron asignadas a todo el sistema de utilidades, lo cual es contraproducente al no entregar detalles sobre la zona afectada del sistema.



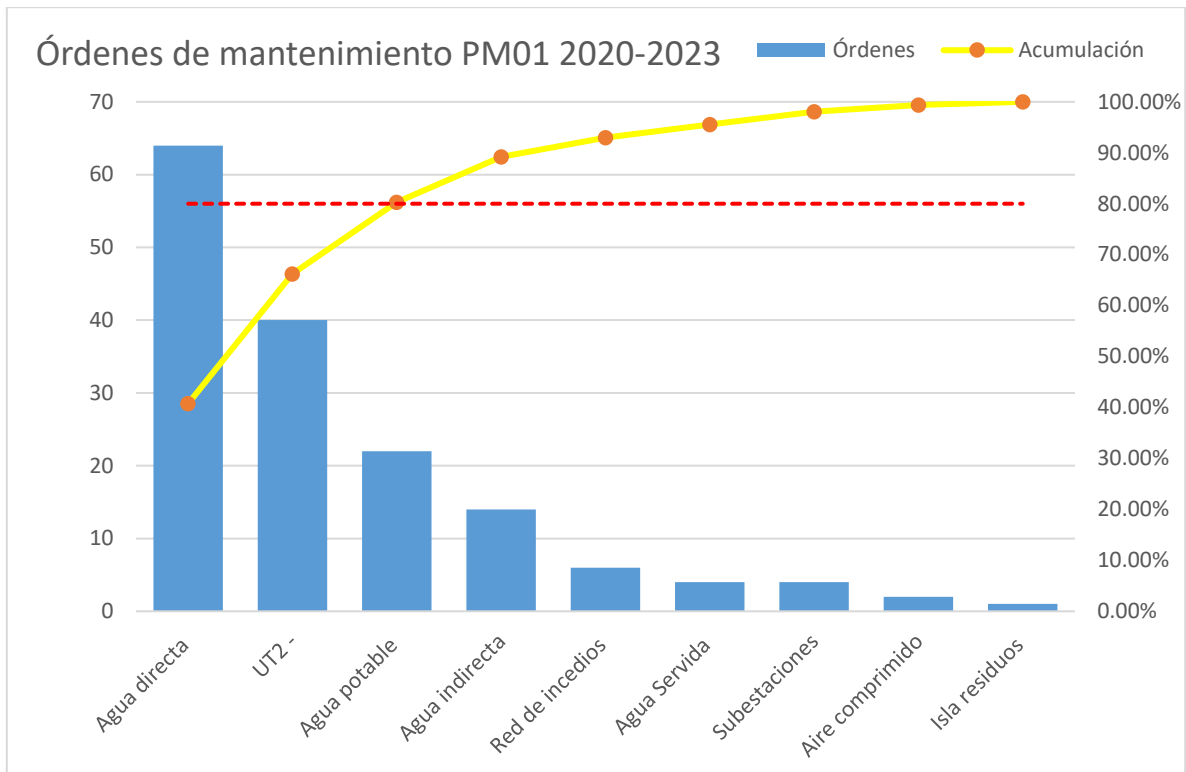


Tabla 19. Pareto órdenes mantenimiento PM01 2020-2023

La Tabla N°19 presenta la frecuencia de órdenes de cada área. Agua directa junto con UT2 representan el 80% del total de órdenes de mantenimiento. Al tomar en consideración tanto los costos de mantenimiento como la frecuencia de órdenes (Tabla N°20), se puede concluir que el área de agua directa representa el mayor impacto en el sistema de utilidades para las órdenes de mantenimiento correctivo no planificado.

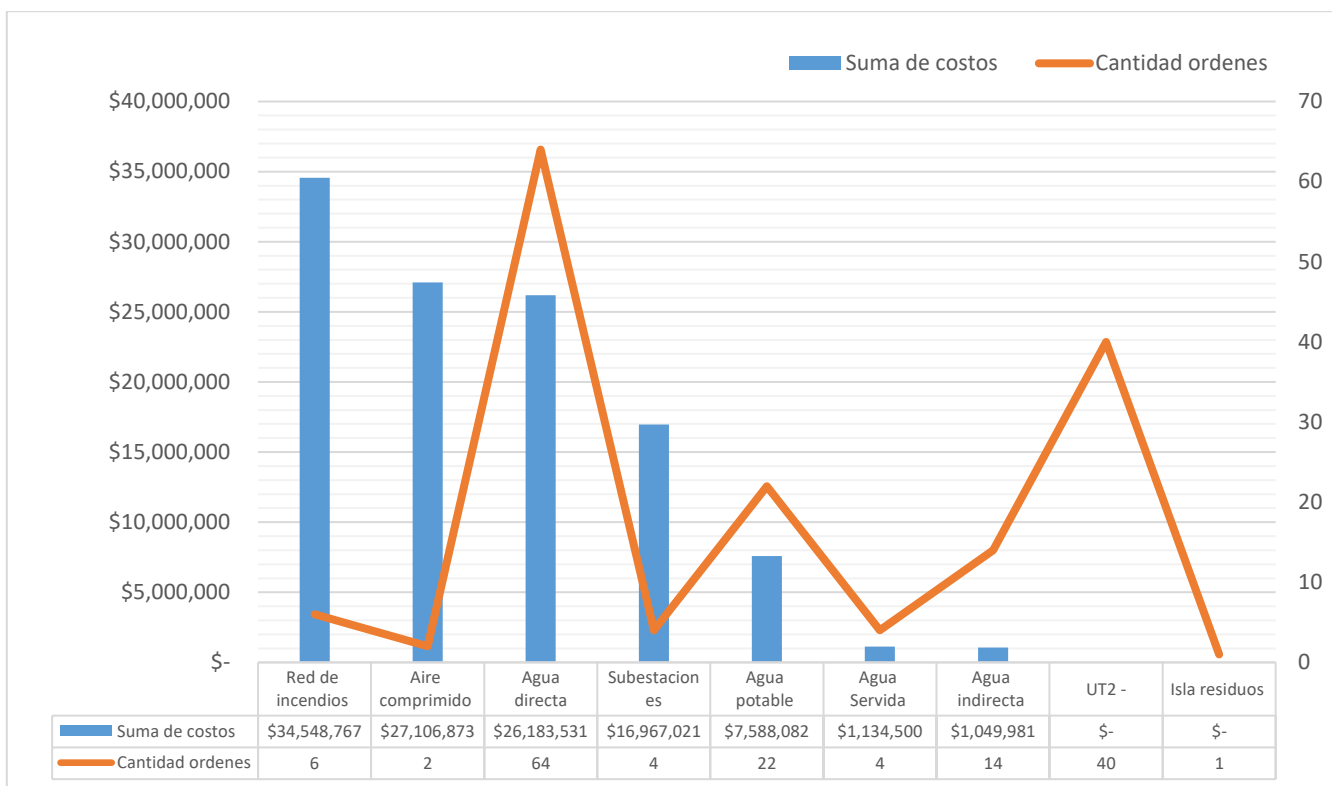


Tabla 20. Relación de variables costos y número de órdenes PM01

## 2. Análisis Mantenimiento Preventivo

Mantenimiento Preventivo		
Ubicación técnica	Suma de costos (CLP)	Cantidad órdenes
Agua directa	\$ 84,699,897	1154
Subestaciones	\$ 37,578,156	258
Agua indirecta	\$ 24,129,202	864
Aire comprimido	\$ 6,606,332	31
Agua potable	\$ 4,170,213	663
Agua Servida	\$ 3,197,054	80
Red de incendios	\$ 2,433,463	682
UT2 -	\$ 68,536	34
Central de petróleo	\$ -	0
<b>Total</b>	<b>\$ 162,882,853</b>	<b>3766</b>

Tabla 21. Costos órdenes de mantenimiento preventivo

En base a la información de la Tabla N°21, se pueden determinar las áreas con mayores costos de mantenimiento preventivo junto con la frecuencia de órdenes. A continuación, se presentan los gráficos de cada variable.

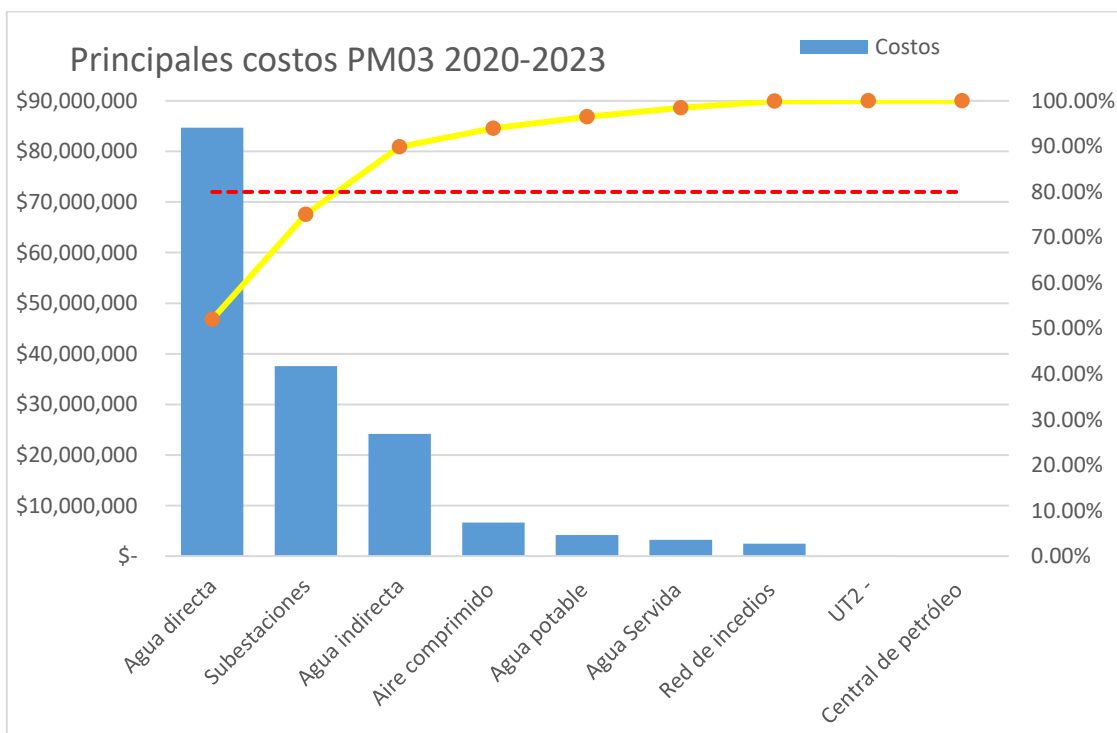


Tabla 22. Pareto costos PM03 2020-2023

La Tabla N°22 indica que el 80% de los costos de mantenimiento preventivo fueron generados por dos áreas; agua directa y las subestaciones.

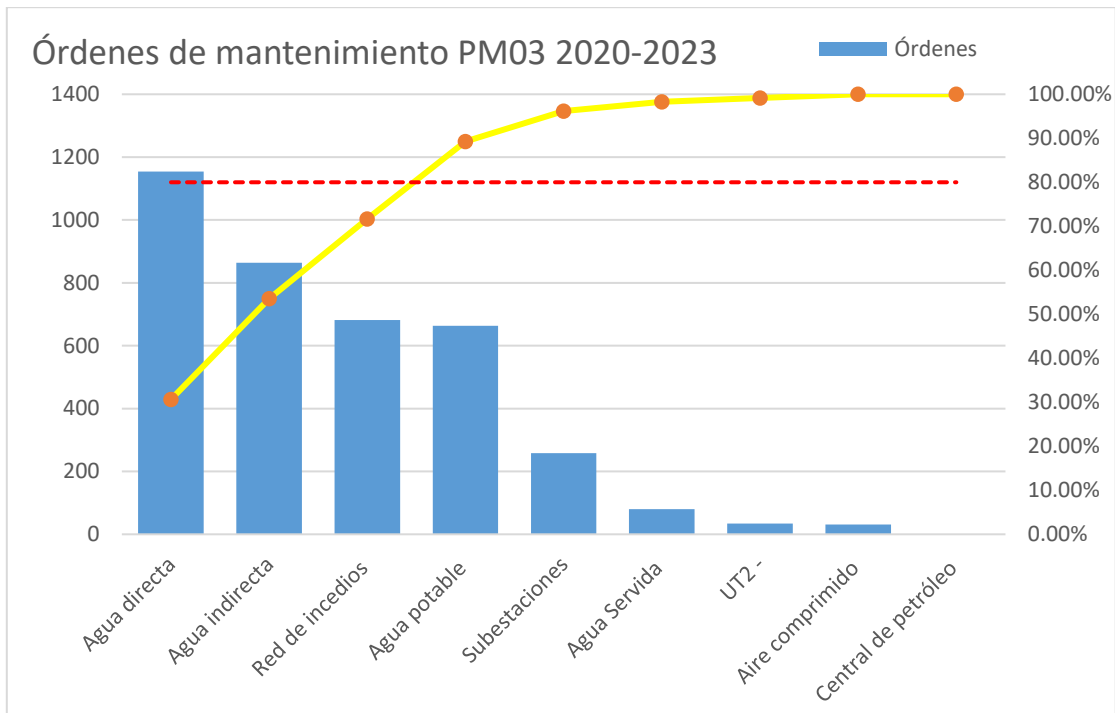


Tabla 23. Pareto órdenes mantenimiento PM03 2020-2023

La Tabla N°23 presenta la frecuencia de órdenes de cada área. Agua directa junto con agua indirecta y red de incendios representan el 80% del total de órdenes de mantenimiento. Al tomar en consideración tanto los costos de mantenimiento como la frecuencia de órdenes (Tabla N°24), se puede concluir que el área de agua directa e indirecta representan el mayor impacto en el sistema de utilidades para las órdenes de mantenimiento preventivo.



Tabla 24. Relación de variables costos y número de órdenes PM03

### 3. Análisis Mantenimiento Correctivo Planificado

Mantenimiento Correctivo Planificado		
Ubicación técnica	Suma de costos (CLP)	Cantidad órdenes
Agua directa	\$ 434,725,782	440
Agua indirecta	\$ 285,057,166	219
Agua potable	\$ 177,495,444	86
Aire comprimido	\$ 171,772,381	23
UT	\$ 153,268,167	337
Agua servida	\$ 105,776,386	90
Red de incendios	\$ 58,086,712	32
Subestaciones	\$ 33,041,753	38
Central petróleo	\$ 2,681,526	2
<b>Total</b>	<b>\$ 1,421,905,317</b>	<b>1267</b>

Tabla 25. Costos órdenes de mantenimiento correctivo planificado

En base a la información de la Tabla N°25, se pueden determinar las áreas con mayores costos de mantenimiento correctivo planificado junto con la frecuencia de órdenes. Cabe destacar que este tipo de mantenimiento responde a fallas de baja urgencia. A continuación, se presentan los gráficos de cada variable.

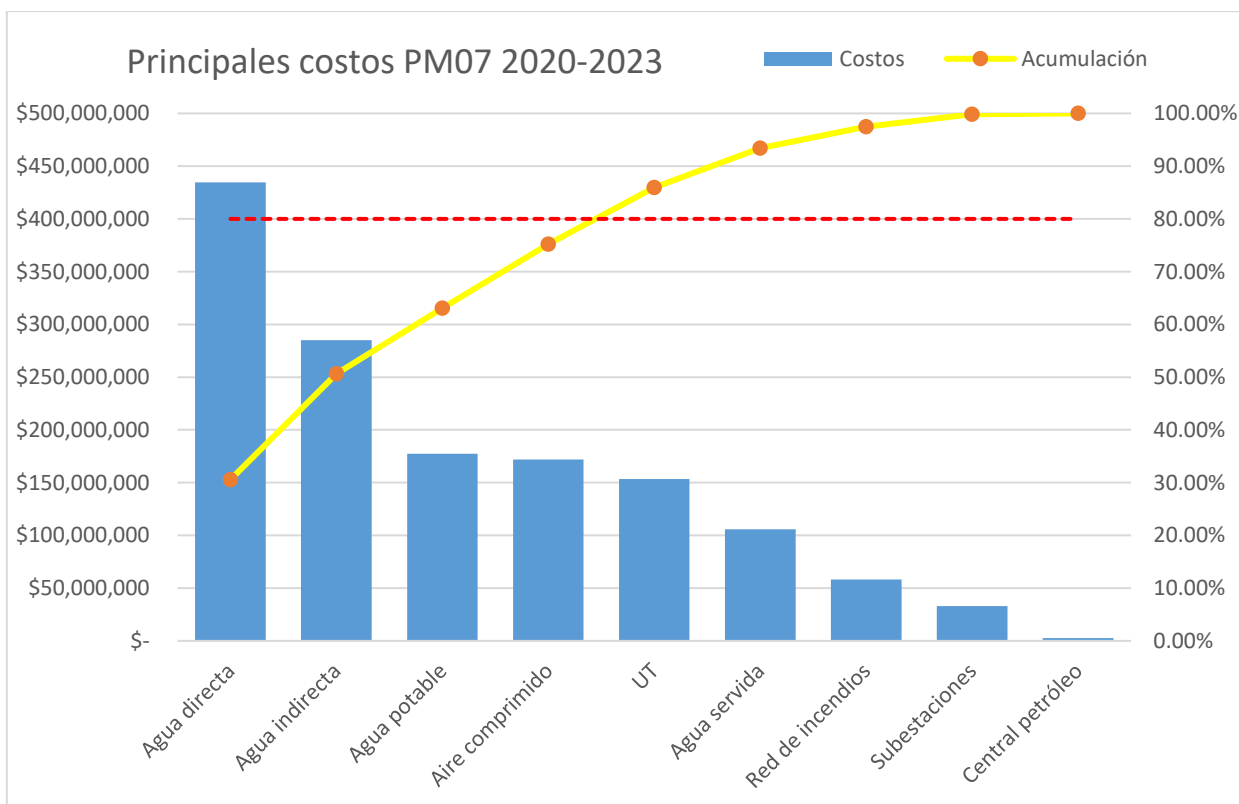


Tabla 26. Pareto costos PM07 2020-2023

La Tabla N°26 indica que el 80% de los costos de mantenimiento correctivo planificado fueron generados por cuatro áreas; agua directa, agua indirecta, agua potable y aire comprimido.

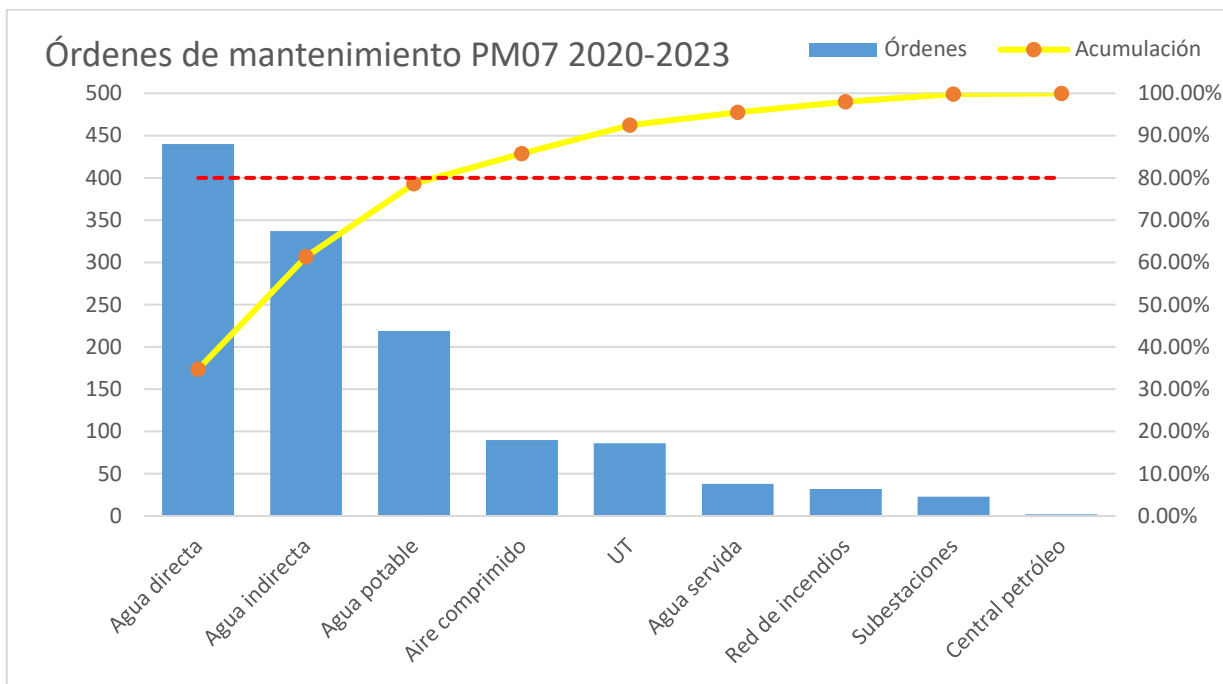


Tabla 27. Pareto órdenes mantenimiento PM07 2020-2023

La Tabla N°27 presenta la frecuencia de órdenes de cada área. Agua directa junto con agua indirecta y agua potable representan el 80% del total de órdenes de mantenimiento. Al tomar en consideración tanto los costos de mantenimiento como la frecuencia de órdenes (Tabla N°28), se puede concluir que el área de agua directa e indirecta representan el mayor impacto en el sistema de utilidades para las órdenes de mantenimiento correctivo planificado.

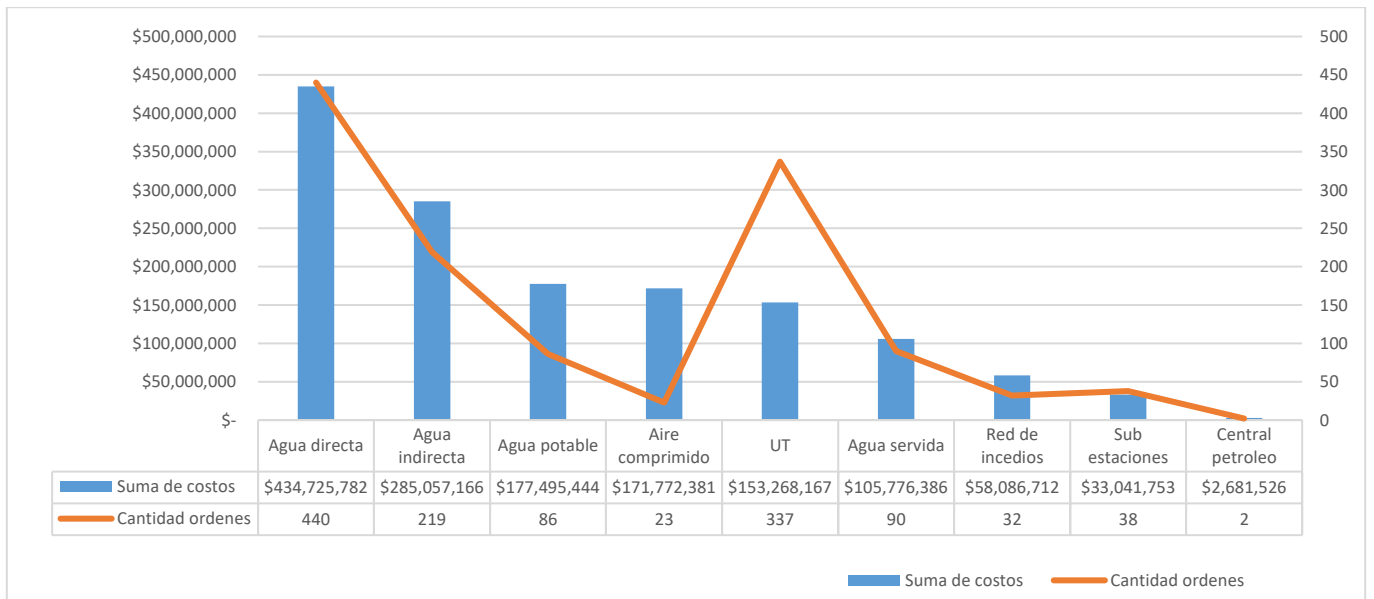


Tabla 28. Relación de variables costos y número de órdenes PM07



#### 4. Análisis del Sistema de Agua Directa

La información recolectada indica que el Sistema de Agua Directa concentra el mayor número de órdenes de mantenimiento y costos. Por ello, es esencial analizar los costos de esta área y destacar los equipos con mayor impacto. A continuación, se ofrece un desglose detallando la contribución de cada equipo.

Equipos	Mantenimiento correctivo no planificado	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento correctivo planificado	Total (CLP)
Piscina agua directa	\$ 4,528,350	\$ 32,004,975	\$ 117,176,458	\$153,709,783
Filtros de arena	\$ 1,503,394	\$ 2,567,789	\$ 92,463,997	\$ 96,535,180
Decantador	\$ 8,549,101	\$ 5,741,461	\$ 66,509,490	\$ 80,800,052
N/A	\$ 5,962,698	\$ 10,415,380	\$ 42,881,606	\$ 59,259,684
Colada continua			\$ 34,373,068	\$ 34,373,068
Filtro tambor	\$ 2,706,003	\$ 94,824	\$ 26,853,734	\$ 29,654,561
Sistema Eléctrico		\$ 18,100,350	\$ 5,618,363	\$ 23,718,713
Piscina de riles		\$ 4,544,422	\$ 18,165,783	\$ 22,710,205
Sistema automático		\$ 11,230,696	\$ 3,364,920	\$ 14,595,616
Clarificador	\$ 2,933,985		\$ 11,124,751	\$ 14,058,736
Pozo laminilla			\$ 6,040,730	\$ 6,040,730
Cilindros encamisados			\$ 5,610,805	\$ 5,610,805
Estanque de escoria			\$ 4,542,077	\$ 4,542,077

*Tabla 29. Costos de mantenimiento, equipos del sistema agua directa*

En base a la información proporcionada en la Tabla N°29, se puede concluir que los equipos que presentan una mayor participación en los costos de mantenimiento son la Piscina de Agua Directa, los Filtros de Arena y el Decantador Principal. Destaca el hecho de que la mayoría de los equipos en el área de agua directa están sujetos a mantenimiento correctivo planificado como su principal inversión. Esto da lugar a un desequilibrio en la distribución de costos, lo que destaca la necesidad de mejorar los planes de mantenimiento preventivo como medida para evitar estos costos correctivos.

La sección de la tabla indicada como “N/A”, representa los costos que no fueron asignados a un equipo en específico, sino determinados como costos del área. Estos costos están compuestos por compras de insumos, mantenimiento de equipos, subcontrataciones y cambio de partes.

## Anexo B. Evaluación económica

En la Tabla N°30 se detalla la acumulación de costos de mantenimiento correctivo (tanto planificado como no planificado) para cada área en el sistema de aguas durante los últimos cuatro años. Se utiliza la letra "M" para representar millones de pesos chilenos (CLP).

Mantenimiento Correctivo	
Ubicación técnica	Costos 19-23
UT2 -	153 M
Agua indirecta	286 M
Agua Servida	106 M
Agua potable	185 M
Subestaciones	50 M
Agua directa	460 M
Aire comprimido	198 M
Red de incendios	92 M
<b>Total</b>	<b>1.533 M</b>

Tabla 30. Costos de mantenimiento correctivo en sistema de aguas, 2019 - 2023

En las tablas 30, 31 y 32 se presentan las reducciones de costos para el caso conservador, moderado y optimista, respectivamente. El porcentaje de reducción se infiere en base a la cantidad de planes de mantenimiento actualizados y el número de inspecciones en terreno programados para los equipos de cada área. Debido a que se consideraron los costos en un periodo de cuatro años, se estudia una reducción porcentual en los siguientes periodos (2024 hasta 2028), y en base a esto se presenta la diferencia de costos fijos.

Mantenimiento Correctivo (Escenario conservador)				
Ubicación técnica	Costos 19-23	% Reducción	Costos 24-28	Diferencia
UT2 -	\$153.268.167	7%	\$143.050.289	\$10.217.878
Agua indirecta	\$286.107.147	7%	\$267.033.337	\$19.073.810
Agua Servida	\$106.910.886	3%	\$103.347.190	\$3.563.696
Agua potable	\$185.083.526	7%	\$172.744.624	\$12.338.902
Subestaciones	\$50.008.774	13%	\$43.340.937	\$6.667.837
Agua directa	\$460.909.313	20%	\$368.727.450	\$92.181.863
Aire comprimido	\$198.879.254	11%	\$177.665.467	\$21.213.787
Red de incendios	\$92.635.479	3%	\$89.547.630	\$3.087.849
<b>Total</b>	<b>\$1.533.802.546</b>	<b>Promedio: 9%</b>	<b>\$1.365.456.925</b>	<b>\$168.345.621</b>

Tabla 31. Reducción costos de mantenimiento correctivo. Caso conservador.

Mantenimiento Correctivo (Escenario moderado)				
Ubicación técnica	Costos 19-23	% Reducción	Costos 24-28	Diferencia
UT2 -	\$153.268.167	10%	\$137.941.350	\$15.326.817
Agua indirecta	\$286.107.147	10%	\$257.496.432	\$28.610.715
Agua Servida	\$106.910.886	5%	\$101.565.342	\$5.345.544
Agua potable	\$185.083.526	10%	\$166.575.173	\$18.508.353
Subestaciones	\$50.008.774	20%	\$40.007.019	\$10.001.755
Agua directa	\$460.909.313	30%	\$322.636.519	\$138.272.794
Aire comprimido	\$198.879.254	16%	\$167.058.573	\$31.820.681
Red de incendios	\$92.635.479	5%	\$88.003.705	\$4.631.774
<b>Total</b>	<b>\$1.533.802.546</b>	<b>Promedio: 13%</b>	<b>\$1.281.284.114</b>	<b>\$252.518.432</b>

Tabla 32. Reducción costos de mantenimiento correctivo. Caso moderado.

Mantenimiento Correctivo (Escenario optimista)				
Ubicación técnica	Costos 19-23	% Reducción	Costos 24-28	Diferencia
UT2 -	\$153.268.167	15%	\$130.277.942	\$22.990.225
Agua indirecta	\$286.107.147	15%	\$243.191.075	\$42.916.072
Agua Servida	\$106.910.886	8%	\$98.892.570	\$8.018.316
Agua potable	\$185.083.526	15%	\$157.320.997	\$27.762.529
Subestaciones	\$50.008.774	30%	\$35.006.142	\$15.002.632
Agua directa	\$460.909.313	45%	\$253.500.122	\$207.409.191
Aire comprimido	\$198.879.254	24%	\$151.148.233	\$47.731.021
Red de incendios	\$92.635.479	8%	\$85.687.818	\$6.947.661
<b>Total</b>	<b>\$1.533.802.546</b>	<b>Promedio: 20%</b>	<b>\$1.155.024.899</b>	<b>\$378.777.647</b>

Tabla 33. Reducción costos de mantenimiento correctivo. Caso optimista.

## Anexo C. Matriz de riesgo

La siguiente información fue proporcionada por empresa AZA.

### CRITICIDAD (CR)

Las inversiones que no poseen beneficios cuantificables (Seguridad Laboral, Medio Ambiente, Seguridad Operativa y Administración) deben ser evaluadas por la criticidad del evento que la inversión se propone a eliminar o reducir.

La **Criticidad (CR)** es, por lo tanto, el indicador utilizado para comparar y priorizar esas inversiones.

### MATRIZ DE CRITICIDAD

La Criticidad (CR) debe determinarse mediante la Matriz de Criticidad, teniendo en cuenta el **impacto y la probabilidad de la ocurrencia del evento** que la inversión se propone a eliminar o reducir.

Para establecer la Criticidad (CR):

- Analizar las inversiones clasificadas como Seguridad Laboral, Medio Ambiente, Seguridad Operativa y Administración en conjunto con los responsables de cada proceso, utilizando los criterios de probabilidad e impacto definidos más adelante.
- La Ingeniería debe garantizar la comparabilidad entre las definiciones de los distintos procesos y definir la Criticidad (CR) conforme a la Matriz de Criticidad a continuación:

MATRIZ DE CRITICIDAD			IMPACTO			
			Catastrófico	Crítico	Moderado	Bajo
			5	3	2	1
PROBABILIDAD	Casi Seguro	4	CR1	CR1	CR2	CR2
	Probable	3	CR1	CR1	CR2	CR3
	Posible	2	CR1	CR2	CR2	CR4
	Improbable	1	CR2	CR3	CR4	CR5

Los valores de la tabla informan los distintos niveles de Criticidad:

**CR1** son inaceptables;

**CR2** son indeseables;

**CR3** se puede aceptar;

**CR4** y **CR5** son aceptables.

Por este criterio, se debe seleccionar y priorizar las inversiones categorizadas en las franjas CR1 y CR2 con el objetivo de reducir la Criticidad para la franja CR3 o menor.

La clasificación de criticidad puede también cuantificarse numéricamente mediante la multiplicación del valor del impacto por la probabilidad para posterior priorización. El nivel CR1, por ejemplo, puede ser subcategorizado en CR1 de valor 20 (4x5), 15 (3x5), 12 (4x3), 10 (2x5) o 9 (3x3).

Para inversiones de Seguridad Operacional debe ser presentado el cálculo de la pérdida potencial, para justificar la clasificación y apoyar la toma de decisión.

## PROBABILIDAD

Para determinar la probabilidad, se debe utilizar los criterios detallados en la tabla, las orientaciones ayudan a elegir la probabilidad de que ocurra el evento:

<b>Casi Seguro</b>	<b>4</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ocurre ocasionalmente.</li> <li>• Ha ocurrido más de una vez.</li> <li>• Estadísticamente (por historial) se espera que se produzca.</li> <li>• La ocurrencia es inminente o se espera que ocurra a corto plazo.</li> <li>• Alta exposición (todos los días) de varias personas</li> </ul>
<b>Probable</b>	<b>3</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es probable que ocurra en algunos años o con el paso de los años.</li> <li>• Ya ocurrió en la empresa y no hubo acción correctiva efectiva.</li> <li>• Una sola causa es suficiente para hacer efectivo el riesgo, considerando las protecciones existentes.</li> <li>• La razón (peligro / control) es elevada, es decir, el control es débil y no confiable.</li> <li>• Hay condiciones agravantes de probabilidad que favorecen la ocurrencia.</li> <li>• Se podría decir que el riesgo tiene una expectativa por encima de lo normal.</li> <li>• Alta exposición de una sola persona (todos los días)</li> </ul>
<b>Posible</b>	<b>2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es probable que ocurra en la vida útil del negocio, pero puede ocurrir si hay deterioro o falta de algún control.</li> <li>• Eventualmente ocurre en el sector.</li> <li>• Equivalente al Probable, pero depende de una segunda causa para poder ocurrir.</li> <li>• No tienen condiciones agravantes de probabilidad. Tiene incluso una redundancia de protección.</li> <li>• Bajo el promedio normal de expectativa.</li> <li>• Exposición Media de personas (por ejemplo, 1 vez por semana)</li> </ul>
<b>Improbable</b>	<b>1</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es improbable que ocurra en la vida útil del negocio. Ya se ha producido en el sector mundial, pero es raro.</li> <li>• Depende de varias causas para ocurrir, tiene varias protecciones y redundancias de modos de fallo diferentes.</li> <li>• Exposición baja de personas (por ejemplo, 1 vez al mes)</li> </ul>

## NIVEL DE IMPACTO:

Establecer el nivel de impacto conforme:

Categoría	Impacto			
	Catastrófico	Crítico	Moderado	Bajo
	5	3	2	1
<b>Salud y Seguridad</b>	Accidentes o enfermedades que generan lesiones de incapacidad permanente o fatalidad en más de una persona.	Accidentes o enfermedades que generan lesiones de incapacidad permanente o fatalidad de una sola persona.	Accidentes o enfermedades que generan lesiones de pérdida permanente no incapacitantes.	Accidentes o enfermedades que generan lesiones no permanentes y no incapacitantes.
<b>Medio Ambiente</b>	Impacto ambiental cuyos efectos son irreversibles, reversibles en más de 10 años y / o causan daños por encima de las divisas de la unidad.	Impacto ambiental cuyos efectos son reversibles a largo plazo (entre 5 y 10 años) y afectan solamente a la unidad.	Impacto ambiental cuyos efectos son reversibles a medio plazo (entre 1 a 5 años) y afectan solamente a la unidad.	Impacto ambiental cuyos efectos son reversibles a corto plazo (hasta 1 año) y afectan solamente al área o unidad.
<b>Seguridad Operativa <sup>1</sup></b>	Impacto financiero mayor del MUS\$ 15 o 30% del ingreso neto de ventas mensual de la planta.	Impacto financiero mayor que MUS\$ 10 o entre 25% e 30% del ingreso neto de ventas mensual de la planta.	Impacto financiero entre MUS\$ 1 y MUS\$ 10 o entre 5 e 25% del ingreso neto de ventas mensual de la planta.	Impacto financiero menor que MUS\$ 1 o entre 2,5% e 5% del ingreso neto de ventas mensual de la planta.
	Evaluar el impacto económico <u>acumulado</u> debido a retrasos de producción, costos de reparación y costos restantes causados por el evento.			
<b>Calidad</b>	Falla no detectada en la Usina e involucra a más de un cliente. Compromete el rendimiento del producto o el rendimiento en el cliente	Falla no detectada en la Usina e involucra a más de un cliente. Tiene el potencial de comprometer el rendimiento del producto o el rendimiento en el cliente	Falla no detectada en la planta y se mantiene restringida a un cliente. Tiene el potencial de comprometer el rendimiento del producto o el rendimiento en el cliente	Falla detectada en la Usina. Compromete el rendimiento del producto o el rendimiento en la planta.
<b>Aspectos Legales</b>	No atiende a la legislación y existen compromisos formalizados con riesgos de prohibición	No atiende a la legislación y existen compromisos formalizados con riesgos de sanciones administrativas o penales.	No atiende a la legislación actual y no existen compromisos formalizados, con riesgos de sanciones administrativas o penales.	Atiende parcialmente a la legislación actual y no existen compromisos formalizados, ni riesgos de interdicción.

1- El impacto económico vinculado a la pérdida de producción solo es válido, si no puede ser compensado por otra unidad.

## Anexo D. Planillas de carga

En base a la Ilustración N°8 (Página 38), donde se detalla la estructura de los planes de mantenimiento, se explica como estos planes se dividen en hojas de ruta, las cuales contienen operaciones con claves modelos asignadas.

A continuación, se proporciona un ejemplo de un plan de mantenimiento preventivo asignado a una ubicación técnica (1111-UT2-ADI1-PIS01, que corresponde a la Piscina de agua directa). La hoja de ruta (1892) en cuestión consta de cuatro operaciones, cada una con una clave modelo, la duración estimada, la cantidad de personal requerido y la frecuencia (1A indica cada año).

Grupo hojas ruta	Ubicación técnica	Denominación ub. Técnica	Operación	Texto breve operación
1892	1111-UT2-ADI1-PIS01	PISCINA DE AGUA DIRECTA	0010	1A-COORDINAR LIMPIEZA PISCINA
1892	1111-UT2-ADI1-PIS02	PISCINA DE AGUA DIRECTA	0020	1A-VACIAR PISCINA
1892	1111-UT2-ADI1-PIS03	PISCINA DE AGUA DIRECTA	0030	1A-HIDROLAVAR
1892	1111-UT2-ADI1-PIS04	PISCINA DE AGUA DIRECTA	0040	1A-LLENAR Y HABILITAR SISTEMA

*Tabla 34. Ejemplo planilla de carga pt1.*



Clave modelo	Duración	Unidad duración	Cantidad	Trabajo	Unidad de trabajo	Frecuencia
1A-COORDINAR LIMPIEZA PISCINA Generar orden de mantenimiento Programar día y hora para realizar el trabajo.	0.2	H	1	0.2	H	1A
1A-VACIAR PISCINA Bajar a cero el PiD del decantador. Bloquear válvula 123A Abrir válvulas 155 para descarga Mantener activas bombas B100-09 para consumo	6	H	1	6.0	H	1A
1A-HIDROLAVAR Retro lavado de paredes Retiro de sedimento en el suelo Revisión del ducto de succión	3	H	1	3.0	H	1A
1A-LLENAR Y HABILITAR SISTEMA Eleva los % en el PiD del decantador Cerrar válvulas 155 Habilitar válvulas 123A	5	H	1	5.0	H	1A

*Tabla 35. Ejemplo planilla de carga pt2.*

Cada aspecto de este plan puede ser modificado para adaptarse al contexto actual. Esto incluye corregir la ubicación técnica en caso de asignación errónea de equipos, actualizar la clave modelo si la información es insuficiente y, especialmente, ajustar las frecuencias y duraciones de trabajo. Estos ajustes tendrán un impacto directo en la programación de los órdenes de mantenimiento.