



Facultad de Ingeniería
Universidad de Concepción

“Propuesta de Procedimiento para Optimizar la Gestión de Recursos mediante un Estudio y Análisis de Costos en el Área de Mantenimiento.”

POR

Felipe Ignacio Bravo Yáñez

Memoria de Título Presentada a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción para optar al título profesional de Ingeniero Civil Industrial

Profesor guía

Alejandro Andalaft Chacur

Profesional supervisor

Cristian Sáez Peña

Julio 2025

Concepción (Chile)

© 2025 Felipe Ignacio Bravo Yáñez

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.

Agradecimientos

Finalizar esta etapa ha sido un proceso desafiante y enriquecedor, en el que muchas personas han contribuido de forma significativa. Este trabajo no habría sido posible sin el apoyo, la guía y la compañía de quienes estuvieron presentes en los distintos momentos del camino.

Agradezco especialmente a mi madre, por su constante respaldo y por darme la oportunidad de avanzar en mi formación con esfuerzo y compromiso. Su apoyo ha sido fundamental desde el inicio.

A Fernando, cuya presencia marcó una diferencia importante al aportar estabilidad en momentos clave del proceso.

A mi familia, en particular a mi abuela, tías y primos, por su apoyo silencioso, pero siempre presente.

Durante los años de carrera, contar con un grupo de amigos comprometidos y solidarios hizo que la experiencia universitaria fuera mucho más llevadera. Compartimos aprendizajes, dificultades y logros que sin duda valoro.

También agradezco a mis profesores y compañeros de selección, por enseñanzas que complementaron mi formación más allá del ámbito académico.

A mi pareja, por su apoyo constante y su disposición a acompañarme en los momentos más exigentes.

Finalmente, agradezco al profesor Alejandro Andalaft por su orientación durante el desarrollo de este proyecto, y a Cristian Sáez por su apoyo en terreno y por facilitar la aplicación práctica de este trabajo.

A todos quienes fueron parte de este proceso, muchas gracias.

Resumen

La presente memoria tiene como objetivo proponer un procedimiento que permita optimizar la gestión de recursos en el área de mantenimiento, a partir del análisis de los costos asociados a las órdenes de trabajo registradas en SAP. El estudio se enmarca en la necesidad de transformar datos operativos en información útil para la toma de decisiones, abordando problemáticas como la baja estandarización de los registros, el mal manejo de esta información y la limitada trazabilidad de costos.

Se utilizó una base de datos histórica correspondiente a órdenes de trabajo cerradas, abarcando un período de dos años excluyendo las paradas generales de planta (PGP). Para su tratamiento se emplearon herramientas de *Business Intelligence* (Python, Excel y Power BI), aplicando técnicas de análisis exploratorio en distintas dimensiones, agrupamiento de los registros mediante *K-Means* y principios como el análisis de Pareto para identificar concentraciones de costos y desviaciones.

Los resultados evidenciaron una alta concentración de costos en un conjunto reducido de equipos. Además, se identificaron problemas en la calidad de los registros, como descripciones incompletas o mal ingresadas, que dificultan el análisis técnico. También se detectaron desviaciones entre los valores contables reportados y los registrados en SAP, junto con falencias en la gestión de inventario de *stock* crítico.

Finalmente, a partir de estos hallazgos se propone un procedimiento estructurado en cinco etapas, orientado a formalizar un proceso que promueva la mejora continua, impulse una mejor calidad en el registro de información y sustente decisiones estratégicas. Su aplicación busca fortalecer el análisis recurrente de datos y proporcionar una base técnica replicable para mejorar la eficiencia en la gestión del mantenimiento.

Abstract

This thesis aims to propose a procedure to optimize resource management in the maintenance area, based on the analysis of costs associated with work orders recorded in SAP. The study is framed by the need to transform operational data into useful information for decision-making, addressing issues such as low standardization of records, poor data handling, and limited cost traceability.

A historical database of closed work orders was used, covering a two-year period and excluding general plant shutdowns (PGP). For data processing, Business Intelligence tools were employed (Python, Excel, and Power BI), applying exploratory data analysis techniques across multiple dimensions, clustering through K-Means, and incorporating principles such as Pareto analysis to identify cost concentrations and significant deviations.

The results revealed a high concentration of costs in a small number of critical equipment. In addition, problems were identified in the quality of records, such as incomplete or poorly entered descriptions, which hinder technical analysis. Discrepancies were also found between the reported accounting values and those recorded in SAP, along with shortcomings in the management of critical stock inventory.

Based on these findings, a structured five-stage procedure is proposed to formalize a process that promotes continuous improvement, enhances the quality of recorded information, and supports strategic decision-making. Its implementation seeks to strengthen recurrent data analysis and provide a replicable technical basis to improve efficiency in maintenance management.

Índice de Contenidos

1	CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	10
1.1	Introducción y presentación del tema.....	10
1.3	Objetivo del Tema	11
1.3.1	Objetivo general.....	11
1.3.2	Objetivos específicos	11
1.4	Justificación del Tema	12
1.6	Limitaciones del estudio.....	12
1.7	Celulosa Arauco y Constitución S.A.....	13
1.7.1	Planta Arauco.....	14
1.7.2	Proceso del mantenimiento	14
2	CAPITULO II: MARCO TEORICO	16
2.1	Mantenimiento.....	16
2.1.1	Mantenimiento correctivo	17
2.1.2	Mantenimiento preventivo	17
2.1.3	Mantenimiento predictivo	17
2.1.4	Costos asociados al mantenimiento	18
2.2	Orden de trabajo	19
2.3	Business Intelligence	20
2.4	Clustering con K-Means	22
2.5	Análisis de Pareto	23
3	CAPITULO III: DESARROLLO	26
3.1	Metodología	26
3.1	Contexto de la situación actual.....	27
3.2	Construcción de la base de datos	28
3.3	Problemas detectados en la calidad del registro	30
3.4	Exploración analítica y visualización de los datos	30
3.4.1	Visión General	30
3.4.2	Composición del gasto.....	34
3.4.3	Segmentación con K-Means	36
3.4.4	Equipos con mayor impacto.....	38

3.5 Fallas y costos en equipos críticos.....	41
3.5.1 Estanques	42
3.5.2 Bombas Centrifugas.....	43
3.5.3 Transportadores de Tornillo.....	44
3.5.4 Ventiladores Centrífugo.....	45
3.5.5 Transportadores de Cadena.....	46
3.5.6 Transportadores de cinta	47
3.6 Stock de repuestos críticos	48
4 CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y CONCLUSIONES	51
4.1 Diagnostico de hallazgos	51
4.2 Procedimiento propuesto	53
4.3 Cierre y Conclusiones.....	59
5 REFERENCIAS.....	61
6 ANEXOS	63
Anexo A. Procedimiento Propuesto	63

Índice de Figuras

Figura 1.1 Diagrama proceso productivo.	14
Figura 2.1 Ejemplo de orden de trabajo.	19
Figura 2.2 Ejemplo de agrupación con k-means.	23
Figura 2.3 Diagrama de Pareto.	24
Figura 3.1 Sistema de gestión de costos planta Arauco - Vista 1	27
Figura 3.2 Sistema de gestión de costos planta Arauco - Vista 2	28
Figura 3.3 Línea temporal de fallas.	33
Figura 3.4 Línea temporal de costos.	34
Figura 3.5 Distribución de costos por clasificación.	35
Figura 3.6 Distribución de costos por tipo de orden.	35
Figura 3.7 Resultado método del codo.	36
Figura 3.8 Gráfico entregado por el algoritmo K-Means.	38
Figura 3.9 Diagrama de Pareto familia-costo.	40
Figura 3.10 Mapa de dispersión costo-criticidad	40
Figura 3.11 Cobertura de stock crítico	49
Figura 3.12 Cobertura de repuestos por indicador ABC.	50
Figura 4.1 Diagrama de Ishikawa.	53
Figura 4.2 Reporte interactivo en Power BI – Vista 1	56
Figura 4.3 Reporte interactivo en Power BI – Vista 2	56
Figura 4.4 Reporte interactivo en Power BI – Vista 3	57
Figura 4.5 Reporte interactivo en Power BI – Vista 4	57
Figura 4.6 Reporte interactivo en Power BI – Vista 5	58
Figura 6.1 Ejemplo de estructura.	68
Figura 6.2 Indicadores sugeridos (KPIs)	69

Índice de Tablas

Tabla 3.1 Extracto de base de datos.	29
Tabla 3.2 Comparación de costos. Fuente: elaboración propia.....	31
Tabla 3.3 Cargos indirectos totales.	32
Tabla 3.4 Componentes más costosos estanques.	42
Tabla 3.5 Problemas más comunes estanques.....	42
Tabla 3.6 Componentes más costosos bombas.	43
Tabla 3.7 Problemas más comunes bombas.....	43
Tabla 3.8 Componentes más costosos transportadores de tornillo.....	44
Tabla 3.9 Problemas más comunes Transportadores de tornillo.....	44
Tabla 3.10 Componentes más costosos ventiladores centrífugo.....	45
Tabla 3.11 Problemas más comunes ventiladores centrífugo.	45
Tabla 3.12 Componentes más costosos transportadores de cadena.	46
Tabla 3.13 Problemas más comunes Transportadores de cadena.	46
Tabla 3.14 Componentes más costosos transportadores de cinta.....	47
Tabla 3.15 Problemas más comunes Transportadores de cinta.....	47

1 CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción y presentación del tema

El mantenimiento industrial es un factor clave en la gestión de activos físicos, ya que impacta directamente en la disponibilidad y confiabilidad de los equipos. En Celulosa Arauco, donde las operaciones dependen del funcionamiento continuo de estos, una gestión eficiente del mantenimiento es esencial para garantizar la correcta continuidad operacional de la planta.

De igual manera, la gestión del mantenimiento debe alinearse con la estrategia de la organización, maximizando el tiempo de vida útil de los equipos para maximizar su desempeño, mitigando riesgos de fallas y costos no planificados.

En el área de mantenimiento se ejecutan alrededor de 20.000 órdenes de trabajo al año por campaña, entiéndase campaña como el tiempo que la planta produce con normalidad entre cada parada general de planta (PGP), generando una gran cantidad de información que, si bien se lleva un control, si es correctamente analizada puede ser de gran utilidad para la toma de decisiones y la optimización de los recursos.

Actualmente, la organización lleva un control anual de costos fijos de mantenimiento basado en los registros de órdenes de trabajo, sin embargo, no se realiza un análisis que permita entender la distribución de estos, y responder preguntas como:

- ¿Dónde se concentra el mayor gasto en mantenimiento?
- ¿Cuáles son los equipos o áreas con mayores costos recurrentes?
- ¿Cuál es la proporción de gastos entre repuestos y servicios?

A esto se suma la falta de un procedimiento que estandarice el proceso, incluso si se pide realizar este análisis, no existe un paso a paso que permita una correcta ejecución. Esto genera que el proceso pueda ser realizado de manera inconsistente o que simplemente no se implemente por falta de claridad.

Este trabajo propone desarrollar un procedimiento basado en el estudio y análisis de costos de las órdenes de mantenimiento, aplicando diversas metodologías que permitan detectar oportunidades para

optimizar el uso de recursos, proporcionando reportes con los que la dirección de la empresa puede tomar decisiones para aumentar la eficiencia de los procesos.

1.3 Objetivo del Tema

1.3.1 Objetivo general

Diseñar un procedimiento formal para mejorar la gestión de los recursos en el área de mantenimiento de Celulosa Arauco y Constitución S.A, mediante un análisis estructurado de los costos asociados a las órdenes de trabajo.

1.3.2 Objetivos específicos

Recolectar y depurar al menos dos años de datos históricos de órdenes de trabajo almacenadas en SAP, con el fin de construir una base de datos estructurada y confiable, en un plazo máximo de 2 meses.

Evaluar las metodologías actuales de control de costos en el área de mantenimiento e identificar sus limitaciones y nivel de integración con los procesos de gestión de recursos.

Aplicar herramientas de análisis exploratorio de datos como Python, Excel, Power BI, entre otras, para caracterizar los costos asociados a las órdenes de trabajo, detectando tendencias, frecuencias y desviaciones.

Utilizar técnicas de aprendizaje automático, implementando el algoritmo *K-Means*, para segmentar órdenes de trabajo según características definidas.

Analizar los resultados obtenidos e identificar patrones operativos, desviaciones, u oportunidades de mejora en la gestión de mantenimiento de los recursos del área.

Proponer un procedimiento formal basado en los resultados del análisis, estableciendo etapas del proceso, criterios de evaluación e indicadores clave de desempeño (*KPIs*).

1.4 Justificación del Tema

La optimización de costos es un aspecto crítico en industrias de todo tipo, esta constituye un factor clave que impacta directamente en la sostenibilidad de su operación. En este contexto, la gestión de activos juega un papel crucial al buscar maximizar la vida útil de los equipos e instalaciones, dejando que industrias con alta demanda y de operación continua busquen una gestión eficiente de los recursos que tienen a disposición.

Implementar este tipo de estudio y metodologías proporcionara un enfoque estructurado para evaluar el impacto económico de las actuales estrategias de mantenimiento, facilitando la identificación de áreas con equipos de costos elevados o recurrentes y la priorización de recursos para estos. Es así como, aparte de visibilizar los costos, también se permitirá evaluar patrones de fallas en equipos y determinar si el mantenimiento recurrente de estos es rentable, comparándolo con un cambio de equipo que se ajuste mejor a las necesidades actuales, y dando paso a la mejora continua.

El desarrollo de un procedimiento claro y replicable mediante este tipo de análisis es crucial para que el proceso de mejora se mantenga en el tiempo, sin depender solo ideas individuales.

1.6 Limitaciones del estudio

El presente estudio se enfocó exclusivamente en el área de mantenimiento de Celulosa Arauco, sin incorporar otras áreas de la organización que comparten recursos o generan impactos cruzados. Esta delimitación responde a criterios de enfoque y alcance definidos desde el inicio del proyecto, con el objetivo de garantizar un análisis profundo y manejable dentro del tiempo disponible.

Durante el proceso de depuración, se identificaron deficiencias en la calidad de los registros, tales como campos incompletos, descripciones poco precisas y errores de codificación. Estas inconsistencias afectan la trazabilidad de la información, dificultando el agrupamiento y la consolidación histórica de los datos.

Otra de las principales limitaciones fue la falta de acceso a información detalla sobre horas hombre (HH) asociadas a las órdenes de trabajo, así como a información sobre las remuneraciones del personal de planta. Esta carencia impidió analizar con precisión el esfuerzo operativo involucrado en los trabajos.

1.7 Celulosa Arauco y Constitución S.A

Celulosa Arauco y Constitución S.A nació el año 1979 a partir de la fusión de Celulosa Arauco S.A. y Celulosa Constitución S.A., es una empresa globalizada con presencia en 5 continentes, dedicada al sector forestal y a la producción de celulosa. A lo largo de los años, ha expandido sus operaciones a nivel internacional, actualmente posee múltiples plantas productivas con operaciones en Chile, Argentina, Brasil y Uruguay.

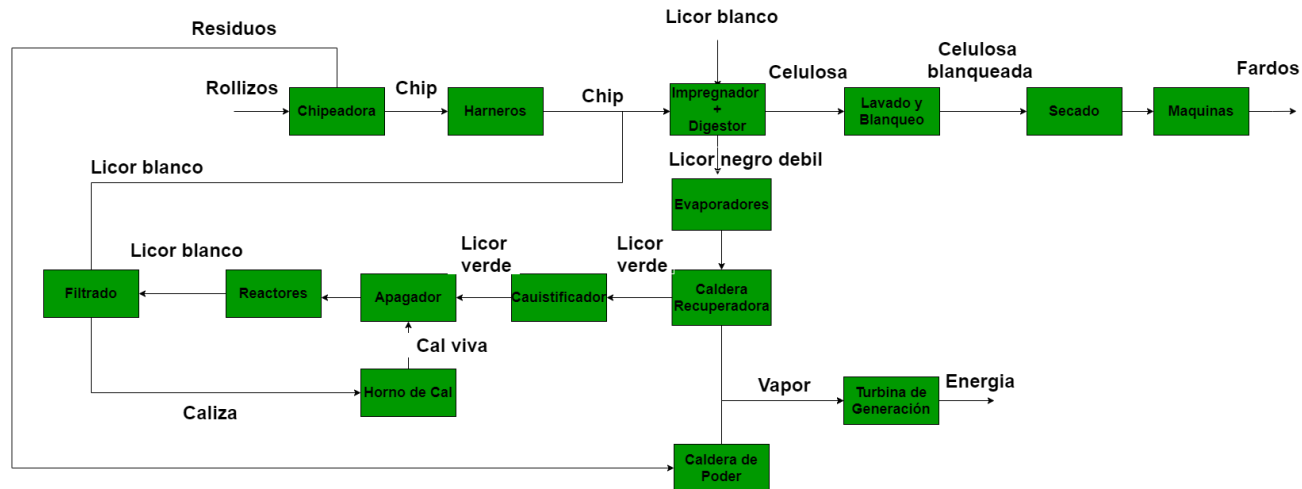
La empresa se especializa principalmente en la fabricación de fardos de celulosa a partir de procesos químicos, estos utilizados en la producción de papel y productos industriales. Además, cuenta con líneas de negocios dedicadas a la producción de paneles, madera aserrada y energía a partir de la recuperación de residuos de los procesos productivos (figura 1.1).

Entre los principales productos elaborados por la compañía se encuentran:

- Celulosa blanqueada de fibra larga: producida a partir de pino radiata o taeda, logra reforzar el producto final, gracias a la resistencia de sus fibras largas.
- Celulosa Blanqueada de fibra corta: realizada a partir de eucalipto, aporta suavidad al producto, con excelentes capacidades morfológicas y versatilidad de usos.
- Celulosa no blanqueada de fibra larga o celulosa cruda: hecha a partir de pino, se utiliza en la industria del *packaging* y fibrocemento.
- Pulpa soluble o pulpa textil: producida desde el eucalipto, se usa como materia prima en la fabricación de tela de viscosa o rayón.
- Celulosa *Fluff*: realizada desde el pino taeda, es la materia prima de productos de higiene personal por su gran capacidad de absorción.

Según el reporte integrado del 2024 en Chile la empresa dispone de 5 plantas de celulosa, 7 plantas de energía, 2 plantas de paneles 2 plantas de terciado y 6 aserraderos (Arauco, 2024).

Figura 1.1 Diagrama proceso productivo.



Fuente: elaboración propia

1.7.1 Planta Arauco

Planta Arauco, también conocida como Planta Horcones II, está ubicada entre las localidades de Laraquete y Arauco, en la dirección Los Horcones S/N, comuna de Arauco, Región del Biobío. La planta se dedica a la producción de celulosa blanqueada de fibra larga y fibra corta. Su construcción comenzó en 1990 y sus operaciones se iniciaron en 1992 con una capacidad de producción de 1500 [T/d] de celulosa.

1.7.2 Proceso del mantenimiento

En Celulosa Arauco, el proceso de mantenimiento se organiza a través de órdenes de trabajo (OT), que constituyen la base formal para planificar, ejecutar y registrar cada intervención realizada sobre los equipos productivos. Este proceso comienza con la recepción de un aviso, que se origina a partir de una falla detectada en operación, una condición anómala reportada por el área de producción o una necesidad previamente programada dentro del plan de mantenimiento. Una vez recibido el aviso, se le asigna un nivel de prioridad, determinado principalmente en función del riesgo de que dicha condición provoque una detención en la producción. Esta evaluación permite priorizar las

intervenciones que podrían afectar la continuidad operativa de la planta, y sirve como criterio para la programación y asignación de recursos.

Luego, se procede a la creación formal de la orden en SAP, donde se registra la causa, la descripción de la condición, los recursos estimados, guías de los equipos y fotografías de ser necesario. En esta etapa, la orden también se clasifica según su tipo, lo cual permite su correcta gestión y seguimiento: ZAM para mantenimientos correctivos programados, ZPP para mantenimiento preventivo, ZPL para paradas de línea, etc.

Por consiguiente, comienza la etapa de planificación, donde se prioriza la revisión de las órdenes pendientes, caracterizándolas según su criticidad y definiendo los recursos técnicos y materiales necesarios para su ejecución. También se coordinan servicios externos si corresponde, y se asegura la disponibilidad de repuestos e insumos. Toda esta información se consolida en el programa semanal de mantenimiento, elaborado por el área de planificación y presentado en una reunión operativa. Una vez aprobado el programa, se realiza la asignación formal de responsables para cada una de las órdenes consideradas.

La fase de ejecución comienza con la verificación de las condiciones de seguridad. Para luego movilizar los recursos humanos y materiales al lugar de intervención, procediendo al bloqueo del equipo si corresponde y dando paso a la ejecución de labores técnicas previstas. Una vez completadas, se realiza la puesta en marcha del equipo, asegurando que vuelva a operar en condiciones normales.

El proceso finaliza con el cierre de la orden de trabajo, que incluye el registro de observaciones, hallazgos y desviaciones en la ejecución. Posteriormente, la orden es revisada por el área técnica y cerrada administrativamente en SAP.

2 CAPITULO II: MARCO TEORICO

Este capítulo presenta los conceptos fundamentales que sustentan el análisis desarrollado en este estudio, vinculando los procesos de mantenimiento con herramientas de análisis y segmentación de datos. Las órdenes de trabajo concentran información relevante, lo que las convierte en una fuente clave para orientar decisiones.

Para ello, se revisan aspectos relacionados en función del mantenimiento industrial, los costos involucrados y la necesidad de contar con registros confiables. Asimismo, se abordan herramientas que permiten estructurar, analizar y extraer conocimiento desde los datos disponibles.

2.1 Mantenimiento

El mantenimiento se define como el conjunto de actividades encaminadas a garantizar el correcto funcionamiento de los activos físicos que conforman el proceso de producción. Estas actividades incluyen la planificación, organización, ejecución y control de intervenciones.

La principal función de mantenimiento es sostener la funcionalidad de los equipos y el buen estado de las maquinas a través del tiempo, acorde con las necesidades de sus clientes, que son todas aquellas dependencias, o empresas de procesos o servicios, que generan bienes reales o intangibles mediante la utilización de estos para producirlos (Montilla, 2016).

La evolución de las organizaciones modernas demanda un enfoque más sofisticado y estructurado hacia el mantenimiento, considerando:

- Sostenibilidad organizacional: Maximizar el uso de los recursos disponibles para reducir desperdicios y mejorar la eficiencia.
- Competitividad: Incorporar mejores prácticas para minimizar costos y tiempos de inactividad.
- Metodologías, procesos y tecnologías: Integrar herramientas modernas de análisis y toma de decisiones.
- Competencias del personal: Capacitar a los equipos en el uso de nuevas metodologías y herramientas tecnológicas.

- Generación de valor: Garantizar que los activos contribuyan al cumplimiento de los objetivos estratégicos.

En la práctica, las estrategias de mantenimiento se clasifican comúnmente en tres enfoques principales:

2.1.1 Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo consiste en intervenir un activo una vez ocurrida la falla, con el objetivo de restaurarlo a su condición original. En este enfoque las piezas y equipos son utilizados hasta llegar al límite de su vida útil, momento en el cual se ejecuta la reparación o el reemplazo correspondiente. Este tipo de mantenimiento se puede clasificar como un no planificado (cuando ocurre una urgencia o falla inesperada) y planificado (cuando se ha identificado una falla inminente y se programa su atención).

2.1.2 Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo se basa en la ejecución de actividades planificadas de forma periódica o según parámetros de uso, con el fin de anticipar fallas potenciales y asegurar el funcionamiento continuo de los equipos. Estas actividades incluyen inspección, ajuste, limpieza, calibración y reemplazo de componentes antes de que fallen.

2.1.3 Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo busca anticipar fallas a partir del monitoreo continuo del estado de los equipos. Se basa en la medición y seguimiento de variables físicas asociadas al desgaste, fatiga o deterioro de los componentes, estableciendo umbrales de alerta que permiten programar intervenciones antes de que ocurran fallas críticas.

Para ello, se utilizan técnicas no destructivas como:

- Análisis de vibraciones
- Termografía infrarroja
- Ultrasonido
- Análisis de aceites

2.1.4 Costos asociados al mantenimiento

Según Montilla (2016), los costos del mantenimiento pueden agruparse en diferentes categorías, dependiendo de su comportamiento, su relación directa con la actividad ejecutada o su impacto operativo. Entre estos destacan:

Costos fijos CF: Son aquellos en que se incurre, haya o no haya actividad, incluyen, salarios de personal de planta, arriendos, impuestos, et.

Costos Variables CV: Aquellos que en un principio que dependen del volumen de actividad, incluyen, repuestos, consumibles, servicios externos, entre otros. En principio el costo del mantenimiento de una organización debe ser variable.

Costos Directos CD: Aquellos que guardan estrecha relación con el desarrollo de una actividad, y son en principio fácilmente cuantificables. Para el caso del mantenimiento, están asociados a costos de mano de obra directa, materiales y repuestos.

Costos indirectos CI: Aquellos que no están estrechamente relacionados con el desarrollo de una actividad en particular, sino que dependen o son consecuencia de una o varias actividades. Su cuantificación es más compleja. Para el caso del mantenimiento están relacionados con, desperdicios, mala calidad, demoras, perdidas de ventas, etc. El personal de mantenimiento debe ser plenamente consciente de las consecuencias que su pobre gestión tiene sobre la producción y el buen desempeño de la empresa.

2.2 Orden de trabajo

La orden de trabajo (OT) es el documento formal mediante el cual se autoriza y gestiona la ejecución de tareas de mantenimiento o servicios técnicos. Representa el punto de partida de cada intervención y cumple una función tanto operativa como de registro, lo que la convierte en una herramienta fundamental para la planificación, control y análisis del mantenimiento.

Cada orden contiene información clave que permite describir con precisión la actividad realizada. Entre los elementos más relevantes se incluyen: el solicitante, el objeto técnico, fechas de apertura y cierre, descripción del trabajo, materiales requeridos, servicios contratados, costos asociados, entre otros. Estos datos son registrados en sistemas de gestión como SAP (figura 2.1).

Figura 2.1 Ejemplo de orden de trabajo.

The screenshot displays the SAP GUI interface for a technical object order. The title bar at the top reads 'Visualizar RECUPERACION OBJETO TECNICO 95395041:'. Below this, a navigation bar contains icons for various functions. The main content area is divided into several sections:

- Order Header:** Shows the order number '395041' and the technical object 'REC TORN VAP ASTILLAS DIG 241-26028 PM03'.
- Description:** A text area containing details about the work, including a request for extra payment, a memo of adjudication, and a quote from VAMET. It also mentions a 19-week service and the removal of all bits and scrapers.
- Est.sist.:** A field with the value 'CERR NOTI CEST JBFI KKMP MMGO MOVN NLIQ*' and a button 'APRO GAST'. A checkbox 'Trab.ppal.pendiente' is also present.
- Tabs:** A row of tabs including 'Datos cab.', 'Oper.', 'Componentes', 'Costes', 'Objetos', 'Datos adic.', 'Emplaz.', 'Planific.', 'Control', and 'Ampliación'.
- Responsable:** A section for the responsible person, showing 'Gpo.plan.: MCE / CE01 Mant. Central' and 'Rs.pto.tr.: 106 / CE01 Maestranza'. It also includes fields for 'Aviso:', 'Costes: 342.500.000 CLP', 'Cl.actv.PM: 043 Trab Realiz. Taller E.', and 'EstdInstal: 2 Equipo F/S Sin'.
- Fechas:** A section for dates, showing 'Inic.extr.: 27.12.2023', 'Fin extr.: 02.01.2024', 'Prioridad: 1 Muy Alta', and 'Revisión: CE01_S52'.
- Objeto de referencia:** A section for the reference object, showing 'Ubic.téc.: CA02-200-201-010-241', 'Equipo:', 'Conjunto: 269112', and 'TORN S/F, TRANSP: 2100MM D.ASPA, 10823MM L'.
- Primera operación:** A section for the first operation, which is currently empty.

Fuente: SAP GUI

2.3 Business Intelligence

Dado que el objetivo del estudio es analizar datos internos de mantenimiento para detectar oportunidades de mejoras en la gestión de recursos, se adopta un enfoque BI. Esta disciplina permite transformar grandes volúmenes de datos en información útil. Según Ospina Usaquén et al. (2020), BI es una herramienta clave para generar valor a partir de los datos internos de una organización.

La inteligencia de negocios o *Business Intelligence* (BI) es un término general que incluye las aplicaciones, la infraestructura, las herramientas y las mejores prácticas que permiten obtener acceso y análisis de la información para mejorar y optimizar tanto el rendimiento como la toma de decisiones en la organización (Ospina Usaquén et al., 2020).

Según Rosado. (2010), la inteligencia de negocios se define como la habilidad corporativa para tomar decisiones. Esto se logra mediante el uso de metodologías, aplicaciones y tecnologías que permiten reunir, depurar, transformar datos, y aplicar en ellos técnicas analíticas de extracción de conocimiento, los datos pueden ser estructurados para que indiquen las características de un área de interés, generando el conocimiento sobre los problemas y oportunidades del negocio para que puedan ser corregidos y aprovechados respectivamente.

De acuerdo con Ospina Usaquén et al. (2020), el proceso de BI puede estructurarse en cinco etapas principales:

1) Extracción de datos

Esta fase consiste en recolectar información desde diversas fuentes internas y externas. En entornos industriales, esta información suele provenir de sistemas ERP como SAP, registros de órdenes de trabajo y reportes operacionales. Es fundamental asegurar la integridad, cobertura y consistencia, para que los análisis sean confiables.

2) Almacenamiento de datos

Una vez recolectada, la información se organiza y consolida en repositorios como *data warehouses* o *data marts*, lo que facilita su disponibilidad y consulta. Esta estructuración facilita el acceso y la consulta de los datos.

3) Procesamiento y transformación

En esta etapa se realiza la limpieza y normalización de los datos mediante procesos ETL (extracción, transformación y carga). Es aquí donde se eliminan duplicidades, se corrigen errores de formato y se adaptan las variables a las necesidades definidas.

4) Análisis de la información

En esta fase se aplican herramientas estadísticas, técnicas de visualización y algoritmos de análisis, como minería de datos, segmentación y aprendizaje automático. El objetivo es identificar patrones, evaluar la distribución de costos y comprender el comportamiento del mantenimiento.

5) Presentación de resultados

Finalmente, los resultados del análisis se comunican a los usuarios mediante *dashboards* interactivos, reportes o alertas visuales, lo que permite facilitar la interpretación e impulsar acciones concretas en base a la información.

Según Ospina Usaquén et al. (2020), entre las principales tendencias tecnológicas asociadas a la inteligencia de negocios se encuentran: *Data as a Service (DaaS)*, *Machine Learning*, *Data Mining*, *Text Mining*, *Business Analytics*, *Big Data*, *Web Analytics*, *Network Analytics*, *Mobile Analytics* y *Web Data Extraction*.

Para el presente estudio, se aplicarán tres de estas tecnologías con un enfoque práctico orientado al análisis de mantenimiento:

- *Data Mining*: en la identificación de patrones de falla, comportamiento de costos y recurrencias en equipos o actividades
- *Machine Learning*: aplicado mediante el algoritmo de agrupamiento no supervisado *K-Means*, con el objetivo de segmentar las órdenes de trabajo.
- *Business Analytics*: empleado para evaluar el desempeño histórico del mantenimiento y sustentar propuestas de mejora basadas en evidencia.

Business Intelligence ha evolucionado más allá de su enfoque tradicional. Según Zohuri y Moghaddam (2020), BI ha pasado de ser una herramienta enfocada en la visualización de datos

históricos a convertirse en parte de un ecosistema más amplio que incorpora Inteligencia Artificial. Esta transición responde a la necesidad creciente de analizar datos en tiempo real, automatizar decisiones y anticiparse a eventos críticos, especialmente en contextos operativos con alta variabilidad.

2.4 Clustering con K-Means

Las Máquinas de Aprendizaje, también conocidas como ML por sus siglas en inglés, *Machine Learning*, han sido uno de los pilares de las tecnologías de información en las pasadas dos décadas, aunque muchas veces ello no fuera visible. No obstante, la creciente cantidad de información que se requiere procesar en la actualidad constituye una buena razón para considerar que su utilización en la actualidad es imperiosa (López y Fernández, 2018).

K-Means es un algoritmo de ML no supervisado que permite la separación de elementos en grupos o clústeres de igual varianza, minimizando un criterio conocido como inercia o suma de cuadrados intraconglomerado. Este algoritmo requiere especificar el número de conglomerados. Se adapta bien a grandes cantidades de muestras y se ha utilizado en una amplia gama de áreas en diversos campos (Scikit-learn, 2024).

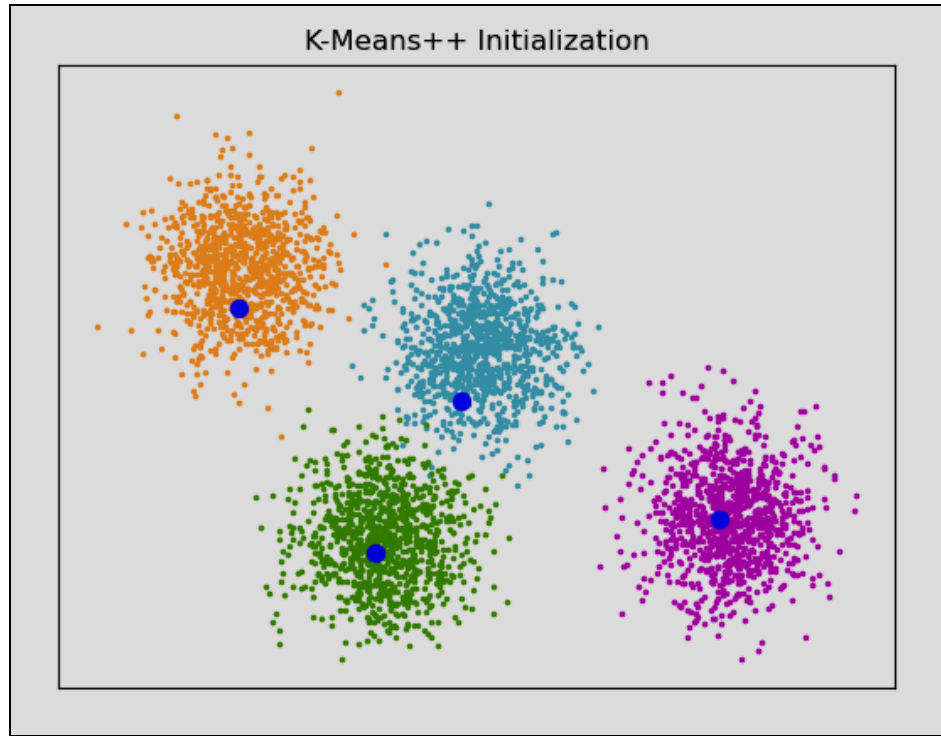
El algoritmo *k-Means* divide un conjunto de N muestras X en K grupos disjuntos C , cada uno descrito por la media μ_j de las muestras del conglomerado; cabe destacar que, en general, no son puntos de X aunque vivan en el mismo espacio (Scikit-learn, 2024).

El algoritmo *k-Means* (figura 2.2) tiene como objetivo elegir centroides que minimicen la inercia o el criterio de suma de cuadrados dentro del grupo:

$$\sum_{i=0}^n \min_{\mu \in C} (||x_i - \mu_j||^2)$$

La inercia puede reconocerse como una medida de la coherencia interna de los clústeres.

Figura 2.2 Ejemplo de agrupación con k-means.



Fuente: (Scikit-learn, 2024)

2.5 Análisis de Pareto

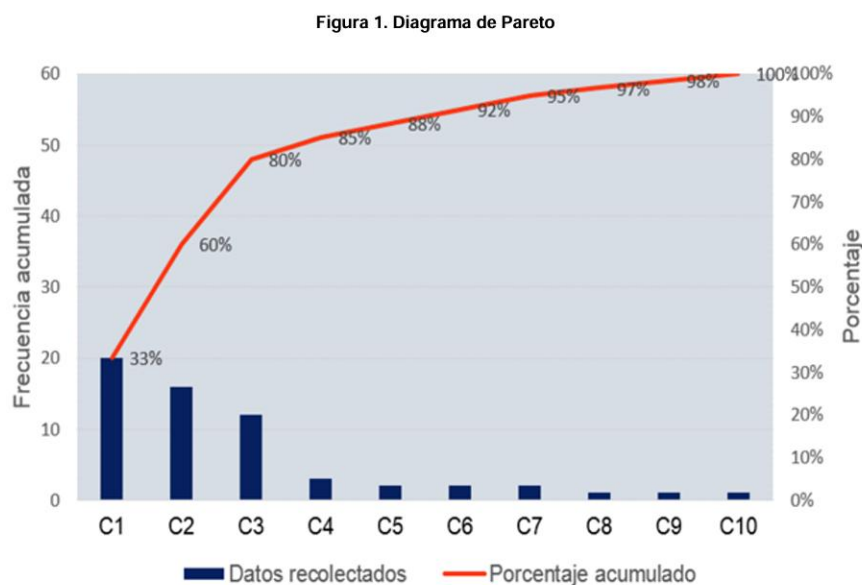
El análisis de Pareto es una técnica utilizada para identificar las causas más significativas de un problema, clasificándolas según su impacto. Se basa en el principio 80/20, el cual plantea que, en muchos fenómenos, el 80% de los efectos proviene del 20% de las causas. Esta relación no es exacta, pero se ha observado con frecuencia en diversos contextos organizacionales.

Tolentino (2015) explica que el Principio de Pareto surge a partir del estudio de Vilfredo Pareto sobre cómo se distribuía la riqueza, observando que una pequeña parte de la población concentraba la mayor parte de los recursos. Aunque Pareto no extendió esta idea a otros ámbitos, más adelante, Joseph M. Juran aplicó este concepto al campo de la gestión como la “Ley de Pareto” y lo utilizó para distinguir entre los pocos factores realmente importantes y la mayoría de menor impacto. Según este enfoque, el 20 % de las causas genera el 80 % de los efectos.

Esta relación inversamente proporcional, se ha transformado en una herramienta clave en el análisis de datos dentro de las organizaciones. Aunque no siempre se cumple de forma exacta, ya que puede variar a relaciones como 70/30 o incluso 90/10. El principio sigue siendo aplicable, ya que casi siempre existe un pequeño número de factores que explica la mayor parte de un resultado (Tolentino, 2015).

La herramienta operativa que surge de este principio se conoce como análisis de Pareto (figura 2.3). Consiste en agrupar, ordenar y representar datos de acuerdo con su impacto, lo que permite visualizar cuáles son los elementos más relevantes. El procedimiento incluye la recolección y clasificación de los datos, el cálculo de su peso acumulado y la representación gráfica mediante un diagrama de barras descendente, conocido como diagrama de Pareto (Drouaillet et al., 2022).

Figura 2.3 Diagrama de Pareto.



Fuente: (Drouaillet, Rincón, Jara, & Pérez, 2022).

En su aplicación al sector transporte, Bonet Borjas (2005) utilizó el análisis de Pareto para clasificar las fallas más frecuentes en un sistema ferroviario, identificando que un número reducido de componentes era responsable de la mayoría de las interrupciones. Esta clasificación permitió establecer prioridades claras en la planificación del mantenimiento, orientando los recursos hacia los elementos con mayor impacto en la confiabilidad del sistema.

Sin embargo, es importante reconocer sus limitaciones. El análisis de Pareto considera una única dimensión de análisis y no permite visualizar relaciones complejas entre múltiples variables. Además, puede verse afectado por la subjetividad cuando los datos provienen de estimaciones o juicios individuales, lo que puede distorsionar los resultados si no se cuenta con una base de datos sólida y confiable (Bonet Borjas, 2005).

3 CAPITULO III: DESARROLLO

3.1 Metodología

El desarrollo de este trabajo se estructuró en cuatro etapas principales: diagnóstico, procesamiento y análisis de datos, obtención de resultados y diseño del procedimiento. Cada una de ellas se concibió como parte de un proceso secuencial orientado a transformar la información disponible en insumos útiles para la toma de decisiones en el área de mantenimiento.

En la primera etapa, correspondiente al diagnóstico, se evaluó la situación actual de la empresa mediante la recopilación de antecedentes relacionados con la gestión de órdenes de trabajo. Esta revisión inicial permitió identificar limitaciones en el uso del sistema SAP, particularmente en lo referido a la estandarización de registros y trazabilidad de la información.

Posteriormente, en la fase de procesamiento y análisis de datos, se empleó como insumo una base proveniente de al menos dos campañas de órdenes de trabajo cerradas, complementada con reportes de costos internos asociados a las mismas. Los datos extraídos fueron sometidos a un proceso de depuración y limpieza, que incluyó la corrección de inconsistencias, la eliminación de vacíos y la estandarización de variables clave como equipos, fallas y centros de costo. Una vez consolidada la información, esta fue estructurada en un formato compatible con herramientas de análisis exploratorio, entre ellas Python, Excel y Power BI.

El análisis de la información contempló la aplicación de técnicas descriptivas para observar frecuencias, tendencias y distribución de costos, así como la utilización de herramientas más específicas. Entre estas, destacó el análisis de Pareto, que permitió identificar los componentes y equipos que concentraban el mayor impacto económico. A continuación, se incorporó el uso del algoritmo K-means como técnica de agrupamiento no supervisada, con el propósito de clasificar órdenes de trabajo según patrones de gasto y criticidad. De forma complementaria, se elaboraron reportes interactivos en Power BI, con el fin de visualizar los resultados de manera dinámica y facilitar la interpretación por parte de los responsables del área de mantenimiento.

Finalmente, en la etapa de diseño, se formuló un procedimiento formal sustentado en los hallazgos obtenidos. Este procedimiento integró criterios de clasificación y la definición de KPI's.

3.1 Contexto de la situación actual

Celulosa Arauco cuenta actualmente con un sistema de control administrativo basado en los registros contables que permite agrupar los costos en centros específicos, facilitando el seguimiento de los gastos reales frente a lo presupuestado. Este sistema se utiliza para registrar y controlar las órdenes de trabajo (OT), que contienen información sobre los costos asociados, se puede visualizar un extracto de este sistema de control de costos en las figuras 3.1 y 3.2.

Sin embargo, a pesar de contar con estos sistemas, se han identificado algunas limitaciones relevantes afectando la trazabilidad de los recursos utilizados y la capacidad de análisis, ya que no es posible identificar qué actividades, equipos o tipos de mantenimiento concentran los mayores costos. Lo anterior genera una dificultad en la toma de decisiones estratégicas, particularmente en lo relacionado con la planificación del mantenimiento, presupuestos y el inventario de materiales/repuestos.

Ante este escenario, el propósito del presente estudio es analizar los costos vinculados a las órdenes de trabajo del área mediante un enfoque cuantitativo y aplicado. Para ello, se recopiló datos correspondientes a un periodo de al menos 2 campañas.

Figura 3.1 Sistema de gestión de costos planta Arauco - Vista 1

N25											
Control Costos Planta Celulosa Arauco 2024											
MES			CONCEPTO COSTO						CENTRO_COSTO		
Mar	Abr		Administración	Caldera Poder 4					CEARA9-301	CEARA9-303	
May	Jun		Costos de conversión	Indirectos de producción					CEARA9-318	CEARA9-321	
Jul	Ago		Ing. Y proyectos	Mantenimiento normal					CEARA9-333	CEARA9-334	
Sep	Oct		Medio Ambiente	RRHH					CEARA9-373	CEARA9-374	
Nov	Dic		RRHH Caldera	Seguridad Ocupacional							
Montos USD			TIPO GASTO								
SUPERINTENDENCIA			Ppto. 2024		Real 2024		Diferencia				
SG MANTENCIÓN			5.150.892		1.343.183		3.790.209				
SI. CONFIABILIDAD			320.800		252.679		68.121				
SI. MANT. FIBRA MADERA MAQUINA			4.905.000		5.240.242		-357.742				
SI. MANT. LICOR CYH EFLUENTE P.AGUA			4.025.000		5.033.933		-1.025.781				
SI. MANTENCIÓN CENTRAL			2.722.100		2.754.876		-111.083				
SI. PLANIFICACIÓN			40.000		49.687		-9.687				
SI. SERVICIOS ELECTRICOS			2.116.208		1.797.485		274.314				
Total general			19.280.000		16.472.085		2.628.351				

Fuente: Reportes internos Celulosa Arauco y Constitución S.A.

Figura 3.2 Sistema de gestión de costos planta Arauco - Vista 2

A		B		C		D		E		F		G		H		I		J		K	
						Control Costos Planta Celulosa Arauco 2024															
MES		CONCEPTO COSTO		CENTRO_COSTO		COSTO															
May	Jun	Administración		Caldera Poder 4		CEAR-9-328		CEAR-9-3	CEAR-9-3	CEAR-9-3	CEAR-9-3	CEAR-9-3	CEAR-9-3	CEAR-9-3	CEAR-9-3	CEAR-9-3	CEAR-9-3	CEAR-9-3	CEAR-9-3	CEAR-9-3	
Jul	Ago	Costos de conversión		Ingeniería y Mantenimiento		CEAR-9-359		CEAR-9-3	CEAR-9-3	CEAR-9-3	CEAR-9-3	CEAR-9-3	CEAR-9-326	CEAR-9-3	CEAR-9-3	CEAR-9-3	CEAR-9-3	CEAR-9-3	CEAR-9-3	CEAR-9-3	
Sep	Oct	Ing Y Proyectos		Mantenimiento normal		CEAR-9-306		CEAR-9-3	CEAR-9-3	CEAR-9-3	CEAR-9-3	CEAR-9-3	CEAR-9-3	CEAR-9-3	CEAR-9-3	CEAR-9-3	CEAR-9-3	CEAR-9-3	CEAR-9-3	CEAR-9-3	
Nov	Dic	Medio Ambiente		Seguridad Ocupacional		CEAR-9-380		CEAR-9-3	CEAR-9-3	CEAR-9-3	CEAR-9-3	CEAR-9-3	CEAR-9-3	CEAR-9-3	CEAR-9-3	CEAR-9-3	CEAR-9-3	CEAR-9-3	CEAR-9-3	CEAR-9-3	
(e)		RRHH Caldera																			
Montos USD																					
JEFE		CENTRO_COSTO		TXT_CECO		TIPO_GASTO		Ppto. 2024		Real 2024		Diferencia		Justificación							
Camilo Inostroza		CEAR-9-328		JEFE EL-ECO MAQUIN L2				320.000		350.446		-30.446									
		CEAR-9-359		JEFE INSTRU MAQUINAQ2				270.000		270.023		-23									
Carlos Carrasco		CEAR-9-306		JEFE CONT DISTRIB L2				210.000		124.672		72.367									
		CEAR-9-311		JEFE TALLER ELÉCTRIC				650.000		644.920		-23.562									
Claudio Díaz		CEAR-9-323		JEFE MEC MAQUIN L2				900.000		1.037.795		-137.795									
Cristian Saez		CEAR-9-375		SUPERINTENDENCIA LICOR CYH EFLENTE P. AGUA				75.000		154.757		-79.757									
Daniel Puentes		CEAR-9-355		JEFE INSTRU FIBRA L2				380.000		402.288		-22.288									
Felipe Marican		CEAR-9-380		HIDRÁULICA CENTRAL				250.000		802.281		-552.281									
Gino Gonzalez		CEAR-9-317		JEFE MEC LICOR L2				1.760.000		2.836.600		-1.093.448									
Guillermo Brand		CEAR-9-335		JEFE MANTENCIÓN CIVI				400.000		545.285		-173.331									
Hector Mella		CEAR-9-301		SUBGERENCIA MANTENCIÓN				5.150.892		1.341.565		3.791.827									
		CEAR-9-373		SUPERINTENDENCIA CONFIABILIDAD				20.800		40.517		-19.717									
		CEAR-9-377		JEFE LUBRICACIÓN L2						-5.717		5.717									
Héctor Castillo		CEAR-9-310		JEFE ELECTR LICOR L2				530.000		450.161		79.839									
		CEAR-9-379		ELECTROCONTROL PTE						32		-32									
Jael Illanes		CEAR-9-318		GASTOS AMBIENTALES DE MANTENCIÓN COM.						222		-222									
		CEAR-9-321		JEFE MEC HORÑOS L2				650.000		787.727		-137.727									
		CEAR-9-378		MECANICA PTE						0		0									
Jaime Palma		CEAR-9-353		JEFE INSTRU LICOR L2				630.000		350.601		279.399									
Jorge Olea		CEAR-9-330		JEFE GEN Y DIST L2				478.208		382.604		95.603									
José Araya		CEAR-9-326		JEFE ELECTR FIBRA 2				185.000		174.221		10.779									
José San Martín		CEAR-9-334		JEFE CALDERERÍA L2				19.100		-36.208		55.308									
Luis Becerra		CEAR-9-313		JEFE TALLER INSTRUME				25.000		11.364		13.636									

Fuente: Reportes internos Celulosa Arauco y Constitución S.A.

3.2 Construcción de la base de datos

Los datos por utilizar corresponden a registros históricos de órdenes de trabajo del área de mantenimiento, abarcando un periodo de al menos dos campañas (años). Esta información se extrae directamente desde SAP, el sistema de gestión interno de la empresa.

1. Procesamiento de la información:

Una vez recopilada la información, se procede a su depuración utilizando Python, con el objetivo de corregir errores de codificación, estandarizar formatos y eliminar registros incompletos o inconsistentes. Esta limpieza de datos permite obtener una base confiable para el análisis. Posteriormente, los datos son exportados a Excel, tal como se muestra en la Tabla 3.1.

Entre las características incluidas en el estudio están:

- N° Orden
- N° Aviso
- Descripción de la Orden
- Descripción del aviso
- Fecha de creación

- Área de la empresa
- Puesto de trabajo responsable
- Ubicación técnica
- Familia de equipos
- Prioridad de la orden
- Criticidad (ABC)
- Costo asociado a la orden
- Clasificación del costo
- Centro de costo asociado
- Clase de la orden
- Clase del aviso

Tabla 3.1 Extracto de base de datos.

Orden	Clase	Área	Familia	ABC	Monto (USD)
95395041	ZRE	241	Transportadores de tornillo	S	\$ 364.250
95755848	ZAM	272	Polines / Rodillos	K	\$ 312.940
95247616	ZAM	251	Estanques	P	\$ 241.220
95600438	ZAM	253	Estanques	P	\$ 229.770
95775506	ZAM	251	Estanques	P	\$ 185.713
95530944	ZAM	272	Estructuras	P	\$ 156.481
95651744	ZAM	272	Bombas Centrífugas	S	\$ 80.669
95619299	ZAM	241	Transportadores de tornillo	S	\$ 134.894
95562452	ZAM	251	Estanques	P	\$ 128.893
95482489	ZRE	247	Bombas Centrífugas	P	\$ 118.480
95779240	ZAM	263	Causa Generales	S	\$ 115.400
95829504	ZAM	256	Estanques	P	\$ 82.885
95829503	ZAM	256	Estanques	P	\$ 82.761
95530944	ZAM	272	Estructuras	P	\$ 156.481
95791750	ZAM	263	Estructuras	S	\$ 152.116

Fuente: elaboración propia

3.3 Problemas detectados en la calidad del registro

Durante el proceso de depuración de la base de datos, se identificaron múltiples deficiencias que afectan negativamente la calidad de los registros asociados a las órdenes de trabajo. Estas falencias afectan la calidad de la información, limitan la capacidad de análisis y reducen la confiabilidad de los indicadores utilizados para la toma de decisiones.

Uno de los principales problemas detectados fue la ausencia de descripciones sobre la falla en las órdenes, afectando aproximadamente al 40% de los registros. Este vacío dificulta la identificación de patrones de fallas, limitando así el análisis.

En segundo lugar, se constató que cerca de 2000 ubicaciones técnicas fueron mal ingresadas o estaban vacías, lo que impide asociar correctamente las intervenciones con los activos físicos correspondientes.

Sumado a esto, se detectó que alrededor del 20% de las órdenes carecen de ciertas características, como el indicador ABC, una variable crucial para establecer prioridades operativas. Esta omisión dificulta la alineación del mantenimiento con los objetivos estratégicos del negocio.

Esta falta de estandarización obstaculiza los procesos de agrupación y segmentación de los datos. Estas deficiencias justifican la necesidad de tomar medidas con el fin de establecer buenas prácticas de registro y así asegurar que los datos cumplan con los requerimientos necesarios para su análisis y explotación posterior.

3.4 Exploración analítica y visualización de los datos

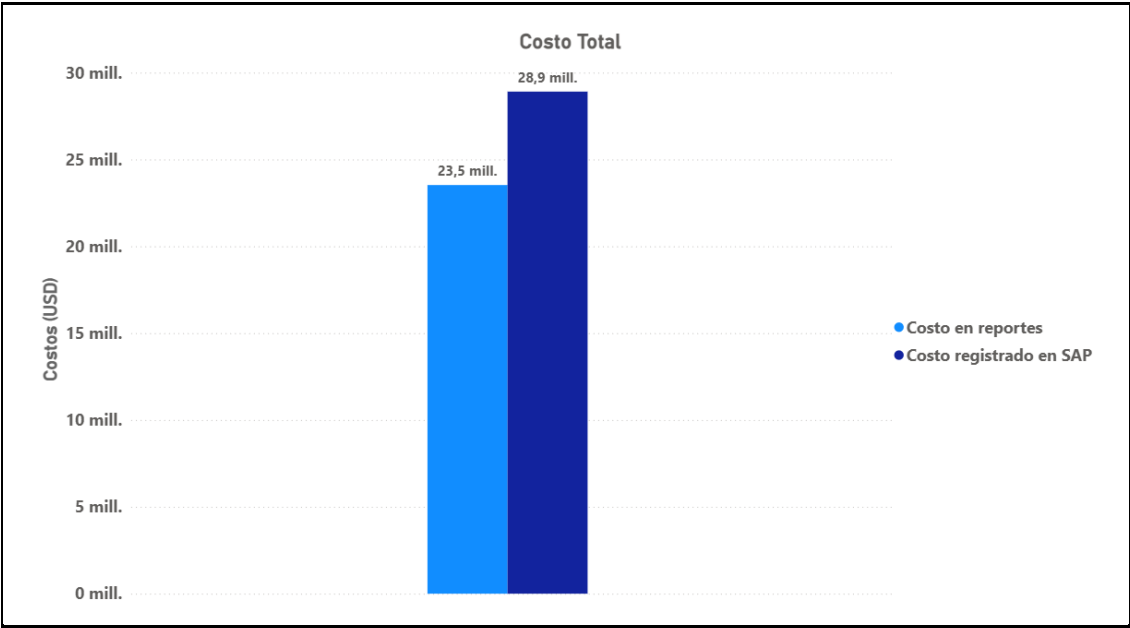
3.4.1 Visión General

Durante el periodo comprendido entre 2023 y 2024, se registró un total de 9083 órdenes de trabajo correctivas, correspondientes a distintas áreas de la empresa.

La comparación entre los costos reportados y registrados (Figura 3.3) evidencia una importante desviación. El valor acumulado registrado alcanza los 28,9 millones de dólares, mientras que el gasto real validado en reportes es de 23,5 millones de dólares, según información registrada en los

sistemas internos de la organización. El monto planificado acumulado para las intervenciones en este periodo alcanza la cifra de 27,18 millones de dólares.

Figura 3.3 Comparación entre costos registrados vs costos reportados.



Fuente: elaboración propia.

Tabla 3.2 Comparación de costos. Fuente: elaboración propia.

Indicador	Valor en USD	Desviación con lo planificado
Gasto real SAP	\$ 28.911.448	+ 8%
Gasto real Reportes	\$ 23.538.164	- 14%

Este desfase evidencia una brecha en el control y trazabilidad de los costos, tanto por sobreestimación como por su registro en los distintos sistemas internos.

Adicionalmente, se identificaron los cargos indirectos asociados (Tabla 3.3), complementando la visión general del comportamiento de costo total y aportando contexto sobre componentes del gasto no directamente vinculados a materiales o servicios.

Tabla 3.3 Cargos indirectos totales.

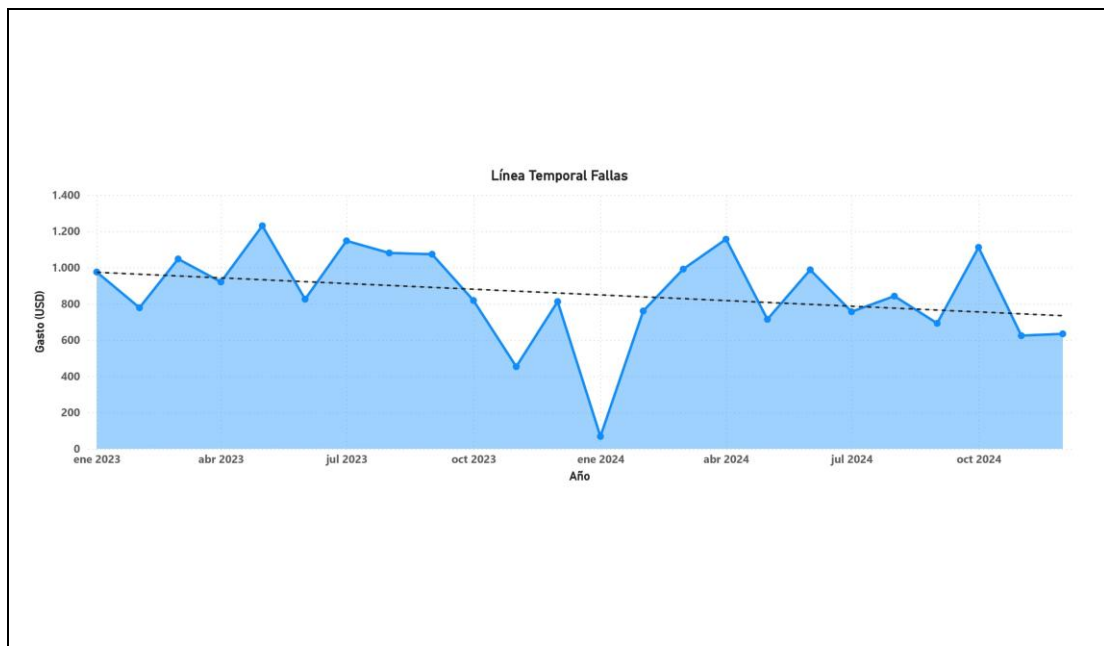
Indirectos	Monto (USD)
Alimentación	\$ 81.770
Arriendo equipos	\$ 634
Arriendo Vehículos	\$ 38.774
Asesorías Técnicas	\$ 9.632
Asignación Movilización	\$ 142.104
Energía y Combustible	\$ 90.764
Equipo de terceros Mant.	\$ 69
Equipo y vestimenta de Seg.	\$ 561.029
Fletes	\$ 103.761
Form.y Util.de Escr.	\$ 39.816
Gastos generales menores	\$ 2.921
Reparaciones de oficinas	\$ 553
Honor. Profesionales	\$ 55.128
Honor. Serv. Temporal	\$ 22.492
MM.OO Terceros	\$ 455.403
Software	\$ 3.407
Material Cursos	\$ 357
Materiales de Mant.	\$ 1.010
Otros Combustibles	\$ 23.128
Insumos	\$ 901
Seminarios y Cursos	\$ 8.688
Servicios indirectos	\$ 13.379
Servicios de obra	\$ 2.301
Servicio Cargadores	\$ 154.353
Transporte personas	\$ 255.943
Total	\$ 2.068.320

Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, la línea temporal de las fallas (figura 3.4) muestra una leve tendencia decreciente, con una caída marcada en enero de 2024, esto es explicado por la realización de la parada general de planta (PGP), en donde se incurre en una detención programada de la planta para efectuar mantenciones a los equipos más complejos. Este periodo ha sido excluido del análisis por tratarse de una interrupción planificada y no representativa del comportamiento de los costos de las campañas.

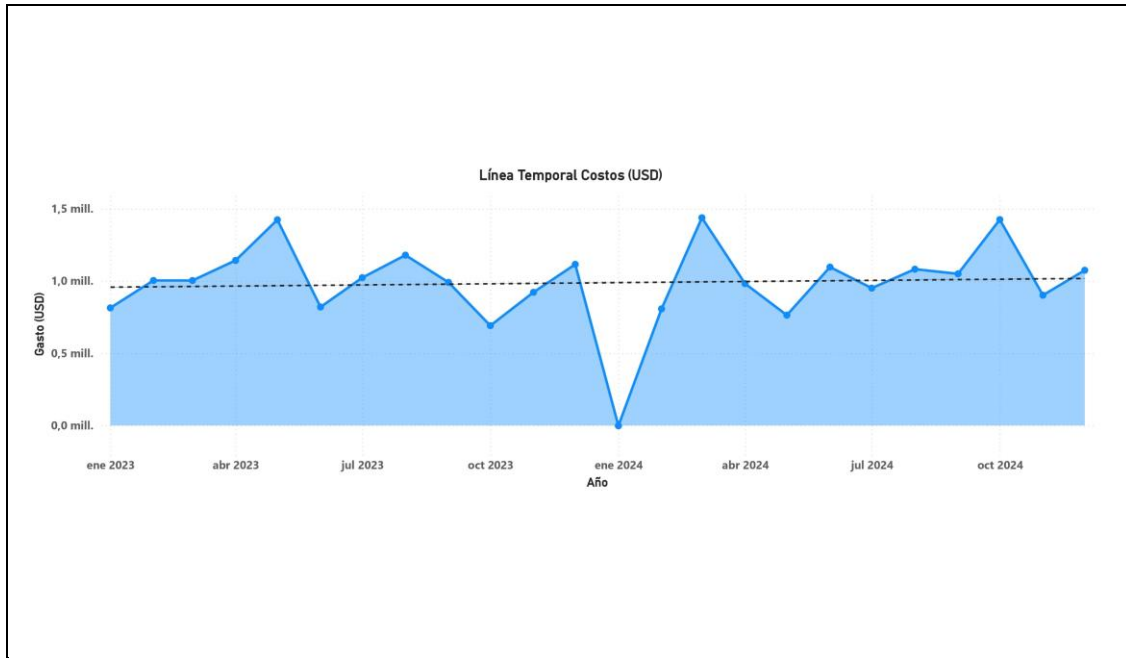
En contraste, la línea temporal de los costos (figura 3.5), asociados a las órdenes de trabajo muestra una tendencia creciente a lo largo del tiempo, lo que refuerza la necesidad de analizar su distribución.

Figura 3.3 Línea temporal de fallas.



Fuente: elaboración propia.

Figura 3.4 Línea temporal de costos.



Fuente: elaboración propia.

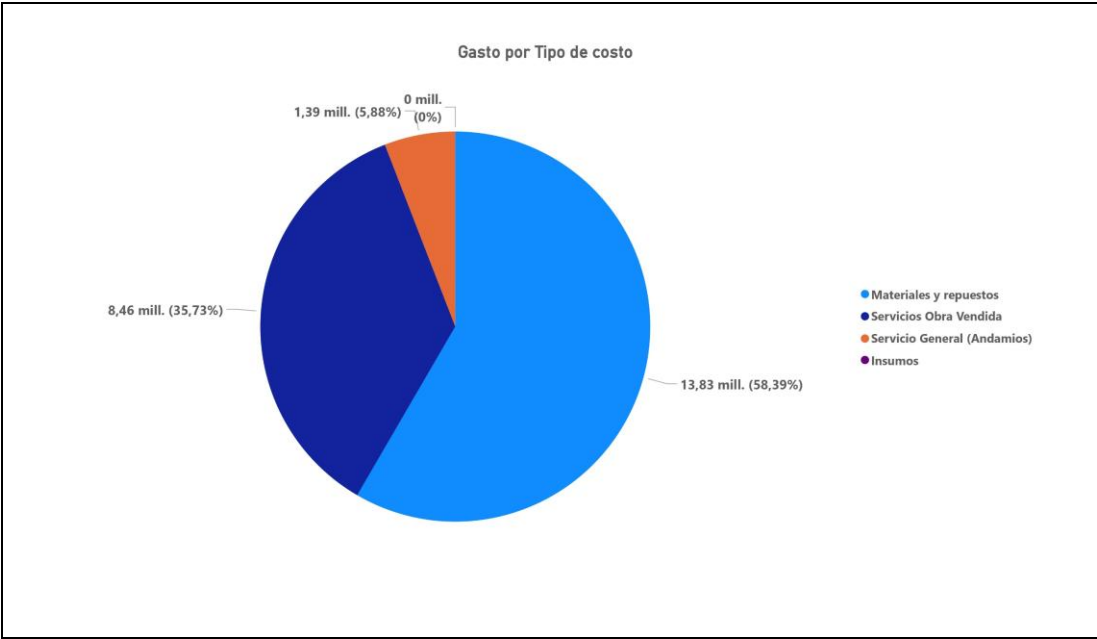
3.4.2 Composición del gasto

Con el objetivo de comprender la estructura del gasto en mantenimiento se analizó la distribución de costos desde diferentes dimensiones. En primer lugar, se clasificaron los costos según su naturaleza contable (figura 3.6), distinguiendo entre materiales y repuestos, servicios de obra vendida y andamios.

Posteriormente se desagregaron por tipo de orden y por área de la empresa (figura 3.7), donde:

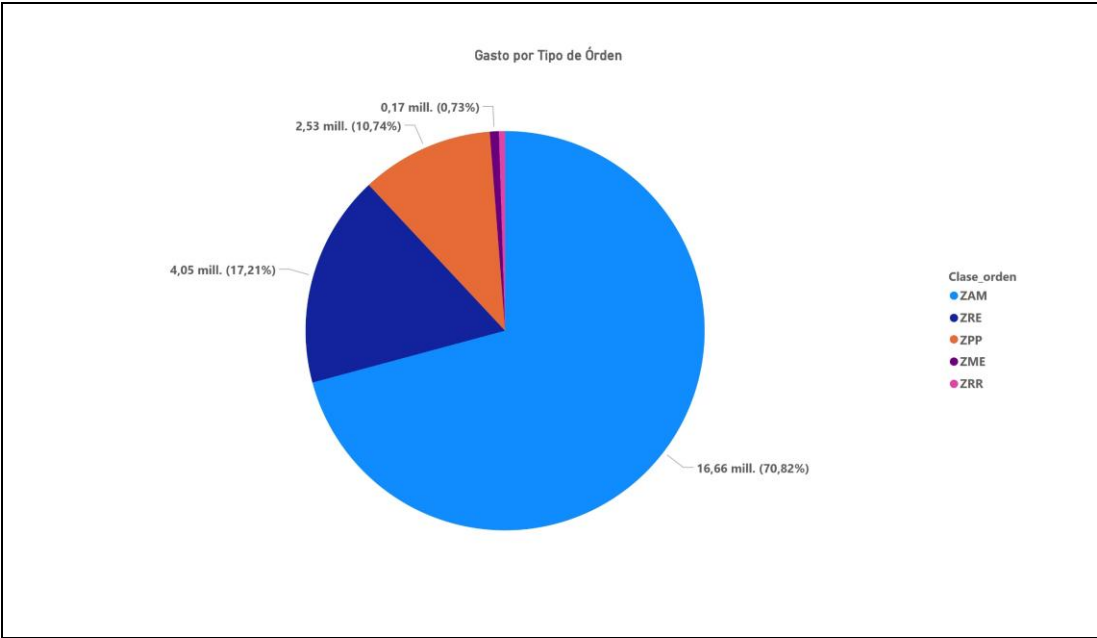
- ZAM: Acción de mantenimiento.
- ZRE: Recuperación de objeto técnico.
- ZPP: Preventivo programado
- ZME: Mejora de mantención.
- ZRR: Programación de parcialidades.

Figura 3.5 Distribución de costos por clasificación.



Fuente: elaboración propia.

Figura 3.6 Distribución de costos por tipo de orden.



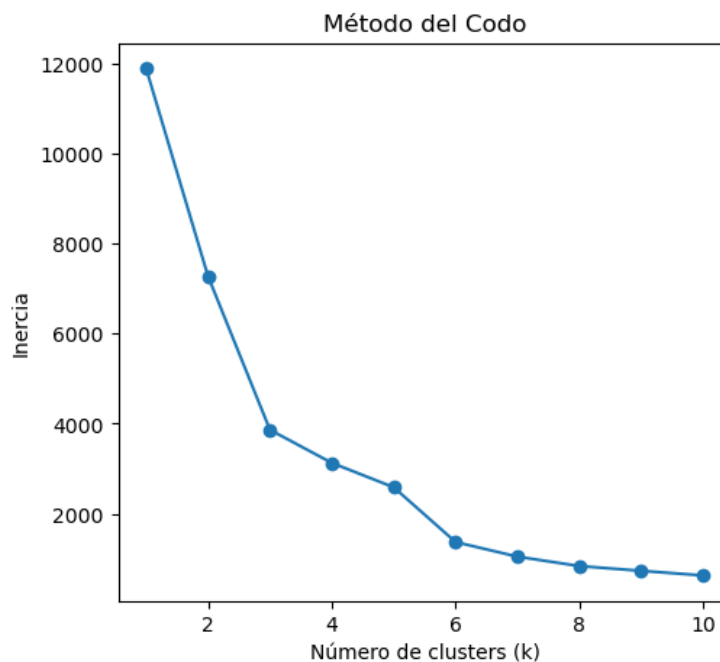
Fuente: elaboración propia.

3.4.3 Segmentación con K-Means

Como parte del análisis exploratorio, se aplica un algoritmo de agrupamiento *K-Means* con el fin de identificar grupos de órdenes de trabajo que compartieran características similares, seleccionando variables previamente normalizadas, incluyendo el costo asociado de cada orden, criticidad y tipo de orden.

En cuanto al número de clústeres, se utilizó el método del codo (figura 3.8), el cual evalúa la inercia en función del número de agrupaciones, resultando en $k = 3$ como el valor adecuado.

Figura 3.7 Resultado método del codo.



Fuente: elaboración propia

La segmentación resultante permitió clasificar las órdenes de trabajo en tres grupos, cuya interpretación se describe a continuación:

Clúster 1: “Complementario”

Este grupo concentra la mayor proporción de órdenes, principalmente asociadas a equipos de bajo impacto en el proceso productivo. Sin embargo, destaca que la gran mayoría corresponde a trabajos correctivos, lo que refleja deficiencias en la gestión preventiva incluso en equipos de menor relevancia. Aunque los costos unitarios son reducidos, su elevada frecuencia puede generar una carga administrativa y operativa significativa.

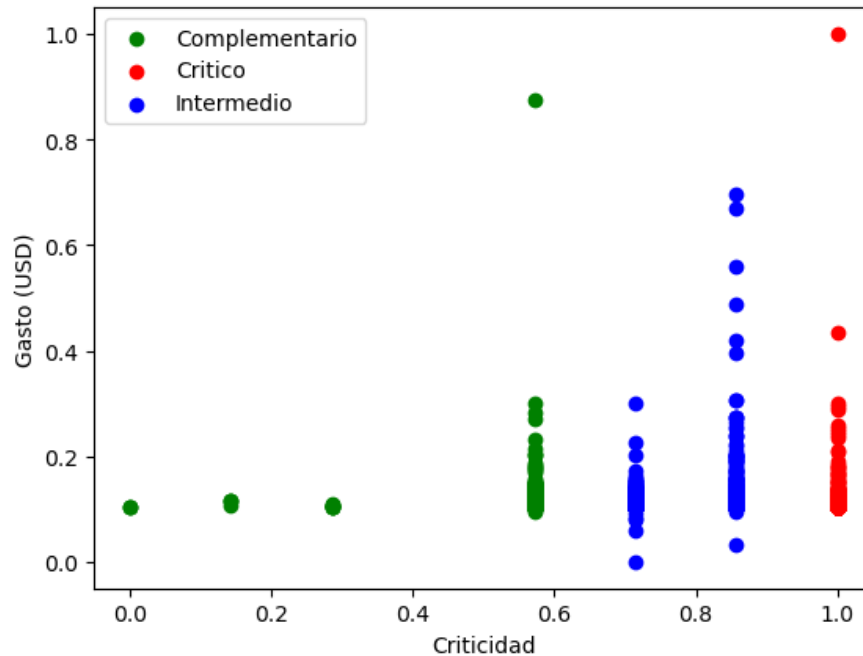
Clúster 2: “Intermedio”

Agrupar equipos de importancia media, donde predominan también las intervenciones correctivas. Este patrón es relevante, ya que evidencia que fallas en este segmento, si bien no tan críticas, pueden comprometer la continuidad de la operación y aumentar la presión sobre los recursos disponibles. La similitud en el costo promedio respecto al clúster complementario sugiere que el factor diferenciador radica más en la criticidad operacional que en el gasto unitario.

Clúster 3: “Crítico”

Si bien representa el menor porcentaje de órdenes, este grupo concentra los equipos de mayor relevancia en la cadena productiva. El predominio de correctivos (70%) es especialmente preocupante, ya que cada intervención implica un costo significativamente mayor y un riesgo alto de afectar la seguridad, ser un riesgo para el medio ambiente y provocar detenciones de área. La elevada criticidad combinada con costos más altos confirma la necesidad de reforzar estrategias predictivas y planes de mantenimiento más robustos en este segmento.

Figura 3.8 Gráfico entregado por el algoritmo K-Means.



Fuente: elaboración propia

En conjunto, los resultados revelan que, aunque los costos unitarios son menores en los equipos complementarios e intermedios, la alta proporción de correctivos en todos los clústeres refleja una tendencia reactiva en la gestión. Esto pone de manifiesto que el problema no radica únicamente en los equipos críticos, sino en una cultura de mantenimiento donde la prevención aún tiene un espacio limitado.

3.4.4 Equipos con mayor impacto

A partir del análisis de Pareto aplicado a las familias de equipos ilustrados en las figuras 3.10 y 3.11, se determinó que el 80% del costo acumulado este concentrado en apenas el 16% de las causas. Las familias de equipos con mayor impacto económico incluyen:

- Estanques
- Bombas Centrifugas
- Transportadores de Tornillo
- Ventiladores Centrífugos

- Polines-Rodillos
- Transportadores de Cadena
- Lanza Sopladores
- Estructuras
- Transportadores de cinta
- Horno de Cal
- Centrales Hidráulicas
- Alumbrado

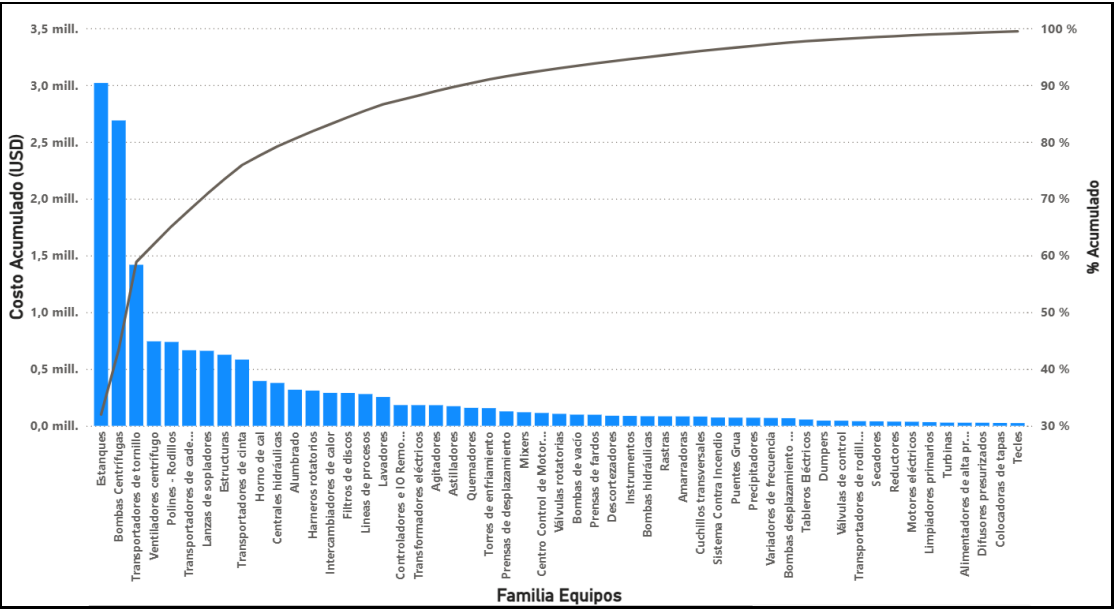
Para el análisis detallado, se seleccionaron las siguientes familias, priorizadas en función de su criticidad y su impacto económico:

- Estanques
- Bombas Centrifugas
- Transportadores de Tornillo
- Ventiladores Centrífugos
- Transportadores de Cadena
- Transportadores de cinta
- Horno de Cal

Esta selección se fundamenta en el resultado del mapa de dispersión costo-criticidad, donde se observa que estas familias se ubican en el cuadrante de mayor impacto, que respalda la elección de estos activos.

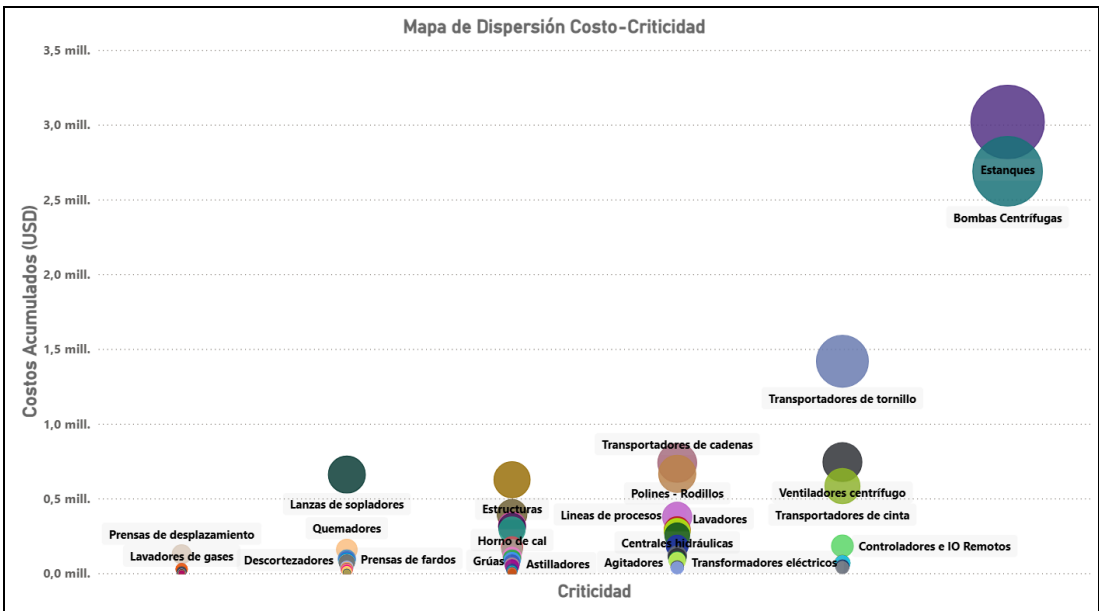
Sin embargo, a pesar de que el horno de cal presenta costos acumulados significativos, fue excluido del análisis detallado debido a su complejidad técnica. Según comentarios del personal, el esfuerzo requerido para intervenir este equipo excede los beneficios que significan, lo que justifica su omisión dentro del alcance de este estudio.

Figura 3.9 Diagrama de Pareto familia-costo.



Fuente: elaboración propia.

Figura 3.10 Mapa de dispersión costo-criticidad



Fuente: elaboración propia.

3.5 Fallas y costos en equipos críticos

A partir de los resultados anteriores, se identificaron las familias de equipos que concentran la mayor proporción de costos asociados al mantenimiento. En esta sección se busca profundizar en aquellos activos seleccionados.

Considerando el elevado número de unidades técnicas asociadas a cada familia de equipos, se optó por un análisis exploratorio que permita identificar patrones de fallas frecuentes sin necesidad de un desarrollo individualizado de cada equipo. Este enfoque permite identificar tendencias transversales que afectan significativamente la gestión del mantenimiento.

El análisis se centró en dos dimensiones complementarias:

- Componentes con mayor costo acumulado, para determinar qué elementos específicos en cada familia son los que generan mayores costos.
- Problemas más frecuentes registrados en las órdenes de trabajo.

Ambas dimensiones fueron evaluadas aplicando el principio de Pareto, concentrando la visualización en el 80% del gasto y los registros. Los resultados obtenidos se presentan desde la Tabla 3.4 a la tabla 3.15.

3.5.1 Estanques

Tabla 3.4 Componentes más costosos estanques.

Componente	Nº intervenciones	Costo acumulado
Manto	40	\$ 596.461
Anclaje	23	\$ 260.220
Sensor	83	\$ 213.783
Cuerpo	34	\$ 171.824
Posicionador	57	\$ 146.686
Piping – Tubería	72	\$ 124.770
Transmisor	32	\$ 94.455
Boquilla	4	\$ 63.655
Aislación	6	\$ 61.368

Fuente: elaboración propia

Tabla 3.5 Problemas más comunes estanques.

Problema	Nº Registros
Medición inadecuada	94
Filtración	81
Control deficiente	69
Fuga	47
Filtración interna	33
Dañado	25
Corroído	24
Recorrido y cierre incorrecto	17
Roto	17
Oscilación	15
Deformado	11
Perdida de comunicación	11

Fuente: elaboración propia.

3.5.2 Bombas Centrifugas

Tabla 3.6 Componentes más costosos bombas.

Componente	N° intervenciones	Costo acumulado
Sello mecánico	73	\$ 226.037
Voluta	23	\$ 196.123
Caja de rodadura	38	\$ 142.813
Sensor	36	\$ 95.766
Rodete	23	\$ 94.520
Acoplamiento	40	\$ 77.765
Transmisor	17	\$ 75.258
Asiento	35	\$ 65.121
Devanado estator	11	\$ 57.802
Brida	55	\$ 42.133
Engranaje	1	\$ 39.927
Base	52	\$ 37.895

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3.7 Problemas más comunes bombas.

Problema	N° Registros
Filtración	206
Vibración	97
Detención	74
Bajo rendimiento	59
Ruido – Roce	40
Filtración interna	34
Medición inadecuada	33
Trabamiento	24
Temperatura	23

Fuente: elaboración propia.

3.5.3 Transportadores de Tornillo

Tabla 3.8 Componentes más costosos transportadores de tornillo.

Componente	N° Intervenciones	Costo Acumulado
Eje	23	\$351.406
Malla	2	\$82.569
Carcasa	21	\$73.736
Helicoide	8	\$48.313
Cadena de transmisión	10	\$26.684
Descanso	18	\$20.619
Piping – Tubería	7	\$19.301
Elemento sensor	5	\$8.653
Cadena de arrastre	2	\$6.655
Sello o retén	4	\$6.334

Fuente: elaboración propia

Tabla 3.9 Problemas más comunes transportadores de tornillo.

Problema	N° Registros
Detención	38
Filtración	31
Ruido – Roce	26
Vibración	16
Fuga – Filtración	7
Temperatura	6
Pérdida de comunicación	5

Fuente: elaboración propia

3.5.4 Ventiladores Centrífugo

Tabla 3.10 Componentes más costosos ventiladores centrífugo.

Componente	N° Intervenciones	Costo Acumulado
Engranaje	3	\$ 52.937
Soporte arriostramiento	2	\$ 50.844
Sensor	17	\$ 50.683
Descanso	21	\$ 41.438
Rotor	22	\$ 36.659
Transmisor	9	\$ 30.794
Carcasa	17	\$ 28.513
Etapla Inversora	1	\$ 26.140
Cable transmisor	3	\$ 17.769

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3.11 Problemas más comunes ventiladores centrífugo.

Problema	N° Registros
Vibración	64
Ruido – Roce	32
Detención	25
Medición inadecuada	21
Filtraciones / Infiltraciones	17
Corrosión	12
Control deficiente	10
Desgaste	10
Pérdida de aislación	5

Fuente: elaboración propia

3.5.5 Transportadores de Cadena

Tabla 3.12 Componentes más costosos transportadores de cadena.

Componente	Nº de intervenciones	Costo acumulado (USD)
Cadena de arrastre	50	\$ 217.079
Guía de desgaste	14	\$ 44.858
Eje motriz	11	\$ 29.110
Cadena de transmisión	14	\$ 28.129
Estructura	25	\$ 24.936
Eje conducido	7	\$ 20.617
Sprocket	17	\$ 19.020
Aditamento / Zapata	6	\$ 14.907
Acoplamiento	11	\$ 10.237
Sensor	1	\$ 8.954
Cable de fuerza	4	\$ 7.960
Relé de protección	4	\$ 7.934

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3.13 Problemas más comunes transportadores de cadena.

Problema	Nº Registros
Deterioro por uso normal	115
Ruido – Roce	33
Detención	30
Pérdida de control	22
Filtración	16
Vibración	11
Pérdida de aislación	9

Fuente: elaboración propia.

3.5.6 Transportadores de cinta

Tabla 3.14 Componentes más costosos transportadores de cinta.

Componente	Nº Intervenciones	Costos Acumulado (USD)
Cinta	22	\$ 248.159
Polín tensor	10	\$ 50.241
Polín motriz	8	\$ 24.034
Sello o retén	3	\$ 13.510
Guarderas	6	\$ 12.175
Polín de retorno	13	\$ 12.053
Estación de impacto	3	\$ 11.912
Elemento sensor	5	\$ 11.129
Eje de salida	1	\$ 8.128

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3.15 Problemas más comunes transportadores de cinta.

Problema	Nº Registros
Ruido – Roce	43
Detención	30
Filtración	21
Pérdida de comunicación	5
Medición inadecuada	4
Aumento en consumo de corriente	3
Iluminación inadecuada	3
Temperatura	3
Gastado	2
Oscilación	2

Fuente: elaboración propia.

3.6 Stock de repuestos críticos

En el contexto del mantenimiento industrial, la gestión del inventario de repuestos es un aspecto logístico crucial, ya que influye directamente en la capacidad de respuesta ante imprevistos. Considerando esto, se realiza una revisión del inventario de materiales clasificados como críticos

El análisis se basó en la información cargada en SAP sobre el registro de inventario, contrastando la cantidad actualmente disponible en bodega y su correspondiente *stock* de seguridad establecido. Para fines de representación, se consideraron los repuestos clasificados como críticos en el sistema.

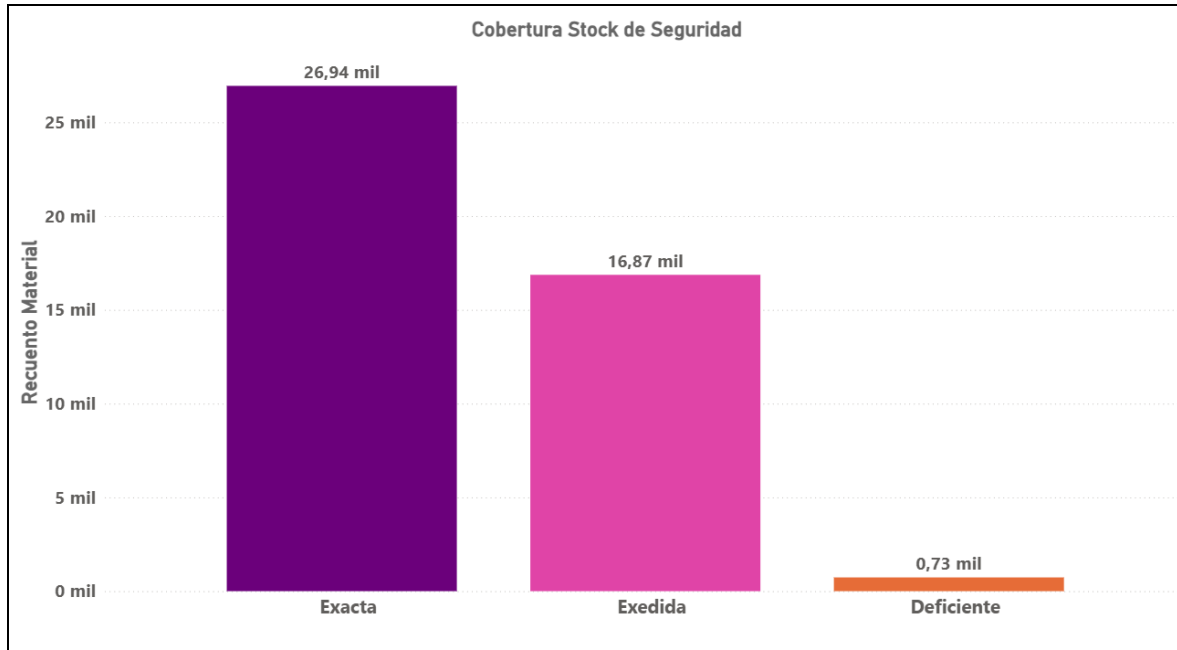
Para facilitar la visualización, se definieron 3 categorías según el nivel de cobertura observado en los registros.

- Cobertura excedida: corresponde a repuestos cuyo *stock* disponible supera el valor establecido como *stock* de seguridad.
- Cobertura exacta: representa los casos en que el *stock* disponible coincide exactamente con el nivel de seguridad definido.
- Cobertura insuficiente: aquellos repuestos con un *stock* inferior al umbral mínimo requerido.

Este contraste permite identificar posibles brechas entre la política de *stock* establecida y la situación real, constituyendo una base para posteriores decisiones relacionadas con el abastecimiento, gestión de riesgos y planificación.

La Figura 3.12 muestra la distribución general del *stock* de materiales críticos según el nivel de cobertura. Se observa que la mayoría de los ítems se encuentra en condición de cobertura exacta, mientras que un porcentaje menor presenta exceso o insuficiencia respecto al *stock* de seguridad definido.

Figura 3.11 Cobertura de stock crítico



Fuente: elaboración propia

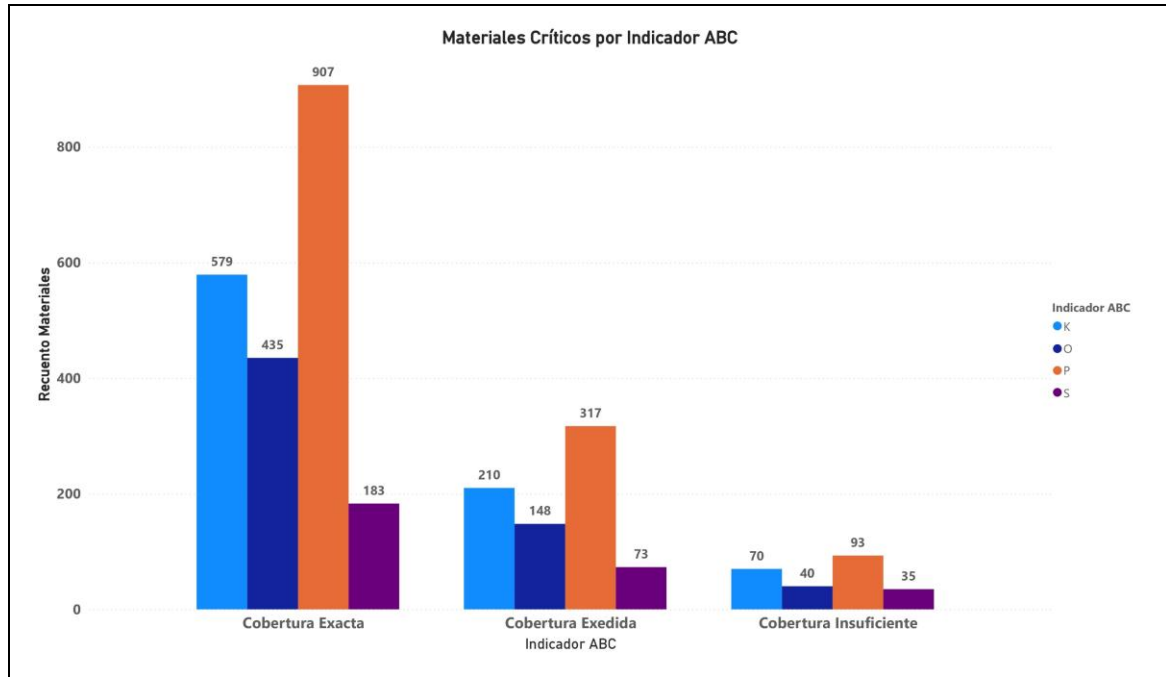
Complementariamente, la Figura 3.13 muestra la misma clasificación desagregada por indicador de criticidad ABC, donde:

- S: super crítico.
- P: prioritario.
- K: crítico o vital.
- O: complementario.

Permitiendo relacionar el nivel de cobertura con la importancia estratégica del equipo asociado a ese repuesto. Se aprecia que, si bien los materiales supercríticos (S) representan un volumen menor, presentan casos con cobertura insuficiente, implicando un riesgo operativo.

Lo anterior sugiere una desalineación entre la gestión de inventario con los objetivos estratégicos de la empresa, evidenciando un exceso de repuestos de menor prioridad dentro de este conjunto.

Figura 3.12 Cobertura de repuestos por indicador ABC.



Fuente: elaboración propia.

4 CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y CONCLUSIONES

4.1 Diagnostico de hallazgos

El análisis de los datos reveló múltiples oportunidades de mejora en el funcionamiento general del área. Uno de los principales hallazgos se relaciona con la calidad de la información y los registros, evidenciando deficiencias tanto por parte del personal como por la falta de estandarización en ciertos campos en el sistema. En conversaciones con el equipo de mantenimiento, se concluyó que gran parte de esta problemática responde a errores conceptuales en el registro de la información. Un ejemplo frecuente es el uso incorrecto de la ubicación técnica en órdenes de recuperación de objeto técnico: en más del 60 % de los casos se consigna como ubicación el taller o la maestranza donde se ejecutó la reparación, en lugar del equipo original al que pertenece el objeto recuperado.

Por otro lado, se observó una concentración significativa de los costos en un grupo reducido de activos. En particular, bombas, transportadores y estanque fueron los equipos que registraron mayor nivel de inversión en mantenimiento y mayor criticidad durante el periodo evaluado. Este comportamiento fue confirmado mediante la aplicación de las distintas herramientas mencionadas en el estudio.

En muchos casos, estas intervenciones se repiten con alta frecuencia, lo que evidencia fallas recurrentes que no están siendo abordadas apropiadamente, observando que algunos activos críticos presentan ausencia de respaldo preventivo documentado. Esta genera dependencia de mantenimientos correctivos no programados, lo que implica costos elevado y una mayor presión operativa en mano de obra y disponibilidad de materiales.

De eso se desprende la segmentación para profundizar en este comportamiento, permitiendo clasificar las órdenes en tres grupos. Primero, el grupo “complementario” corresponde al segundo en volumen de órdenes, y presenta el costo promedio más bajo, asociado a actividades del tipo preventivo. Segundo, el grupo “prioritario” concentra la mayor cantidad de órdenes, vinculadas a equipos relevantes con costos intermedios. Por último, el grupo “crítico” reúne una menor proporción de órdenes, pero presenta el costo promedio más alto, evidenciando un tipo de intervención más disruptiva y costosa.

Finalmente, durante el análisis se identificaron inconsistencias en el inventario de repuestos. Una de las principales observaciones fue la falta de *stock* de seguridad en repuestos clasificados como supercríticos, lo que representa un riesgo operativo ante fallas inesperadas en equipos relevantes. Esta situación obliga a gestionar adquisiciones urgentes, las cuales tienden a tener mayores costos, afectando directamente la continuidad del proceso productivo.

En contraste, se detectaron niveles de *stock* excesivos en materiales de menor prioridad operativa. En varios casos, estos repuestos presentan un bajo consumo histórico o están asociados a ubicaciones técnicas con menor impacto en el proceso. Esa sobre cobertura además de inmovilizar capital, genera costos de almacenamiento innecesarios y reduce la eficiencia en la gestión de estos recursos.

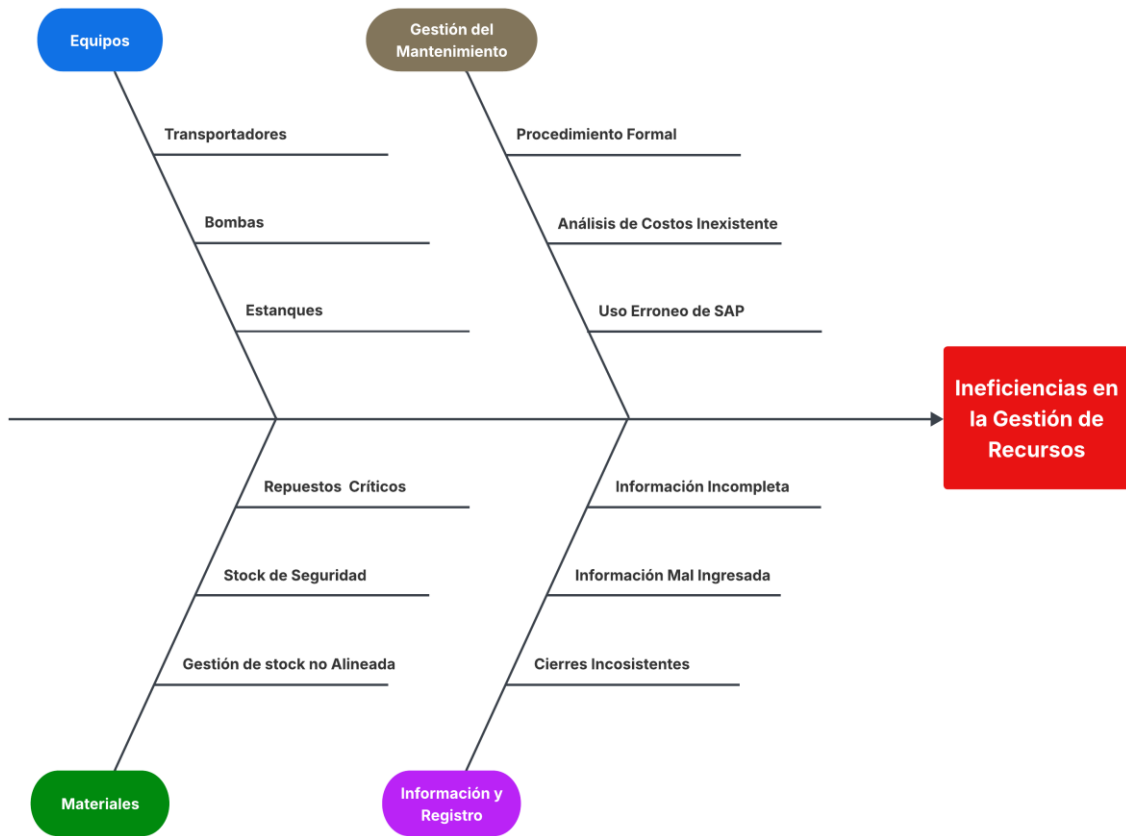
En conjunto, estos hallazgos revelan una gestión de *stock* no alineada con la realidad operacional, afectando tanto a la disponibilidad oportuna de materiales como la eficiencia económica de las actuales estrategias del mantenimiento.

en la revisión de la política de *stock* de seguridad se detectaron brechas importantes. Algunos repuestos clasificados como supercríticos presentan niveles por debajo del mínimo definido, mientras que otros, también críticos pero asociados a ubicaciones de menor prioridad, muestran una sobre cobertura. Esto genera tanto riesgo operativo como costos innecesarios de almacenamiento, revelando una oportunidad para optimizar la lógica de reposición y revisar la asignación de criticidad.

Como parte del diagnóstico, se elaboró un diagrama de causa efecto o diagrama de Ishikawa (figura 4.1), con el propósito de identificar las causas que originan las inefficiencias en la gestión de recursos. Esta herramienta, ampliamente utilizada en metodologías de mejora continua, permite representar de manera estructurada las causas de un problema dentro de un proceso determinado, facilitando su análisis y priorización.

El método fue desarrollado por Kaoru Ishikawa en la década de 1960 y, desde entonces, se ha consolidado como una técnica fundamental en entornos industriales. Su valor radica en ofrecer una visión sistémica y colaborativa del problema, permitiendo no solo abordar sus manifestaciones visibles, sino profundizar en las causas raíz. Además, fomenta el trabajo en equipo, el intercambio de información entre áreas y el desarrollo de soluciones enfocadas en la mejora continua de los procesos (Ishikawa, 1985).

Figura 4.1 Diagrama de Ishikawa.



Fuente: elaboración propia

4.2 Procedimiento propuesto

En virtud de los resultados, se propone un procedimiento que permita organizar, analizar y utilizar de forma sistemática la información contenida en las órdenes de trabajo. Esta herramienta no solo se orienta a detectar desviaciones o concentraciones de gasto, sino también a establecer un flujo de trabajo replicable, que permita repetir la continuidad del análisis en el tiempo (ver Anexo A).

El objetivo es establecer una metodología estructurada para el análisis de costos asociados a las órdenes de mantenimiento, que permita mejorar la gestión de recursos en el área de mantenimiento. La iniciativa busca transformar los datos disponibles en información útil, facilitando la identificación

de equipos de alto impacto, evaluación de tendencias operativas y el cruce de variables clave como frecuencia de fallas, criticidad, costos y disponibilidad de materiales.

Además, está diseñado para ser aplicable de forma periódica, entregando una base técnica que permita dar seguimiento a los activos más relevantes y sustentar decisiones de planificación con criterios objetivos.

Este procedimiento se compone de cinco etapas secuenciales que permiten organizar, depurar y analizar la información contenida en las órdenes de trabajo en insumos útiles para la toma de decisiones. Su implementación se alinea con los principios de *Business Intelligence* descritos en el marco teórico:

- 1) Extracción de datos desde SAP
- 2) Almacenamiento y estructuración de la información
- 3) Procesamiento y transformación
- 4) análisis exploratorio de la información
- 5) Presentación de resultados

4.2.3 Requisitos para su implementación

Para la implementación del procedimiento propuesto se requiere cumplir con una serie condiciones mínimas que aseguren la viabilidad del análisis. Estos requisitos se agrupan en tres dimensiones principales.

Primero, es fundamental contar con acceso a los reportes contables y los registros históricos de las órdenes de trabajo, almacenadas en el sistema. La información debe incluir características clave para el análisis como la ubicación técnica, el tipo de orden, el monto asociado, etc.

Segundo, Para el tratamiento de los datos se empleó un enfoque mixto que combinó herramientas de análisis y visualización. En una primera etapa, Python y Excel se utilizaron para la depuración de registros, la corrección de inconsistencias y la generación de análisis exploratorios básicos, tales como la distribución de frecuencias, tendencias de costos y segmentación. Posteriormente, los resultados fueron integrados en Power BI, donde se desarrollaron reportes interactivos que permitieron visualizar

de manera dinámica la información, facilitando la identificación de concentraciones de gasto y patrones de comportamiento.

Como ejemplo de este despliegue, Power BI permitió representar los costos acumulados mediante gráficos de Pareto y segmentar la información por familias de equipos y clases de orden, lo que otorgó una visión clara y accesible para la toma de decisiones en mantenimiento.

Por último, la correcta aplicación del procedimiento exige mantener una consistencia en la codificación de equipos, y causas. Esto requiere una estandarización previa o paralela al proceso, así como la asignación de un responsable técnico encargado de consolidar y validar la base de datos

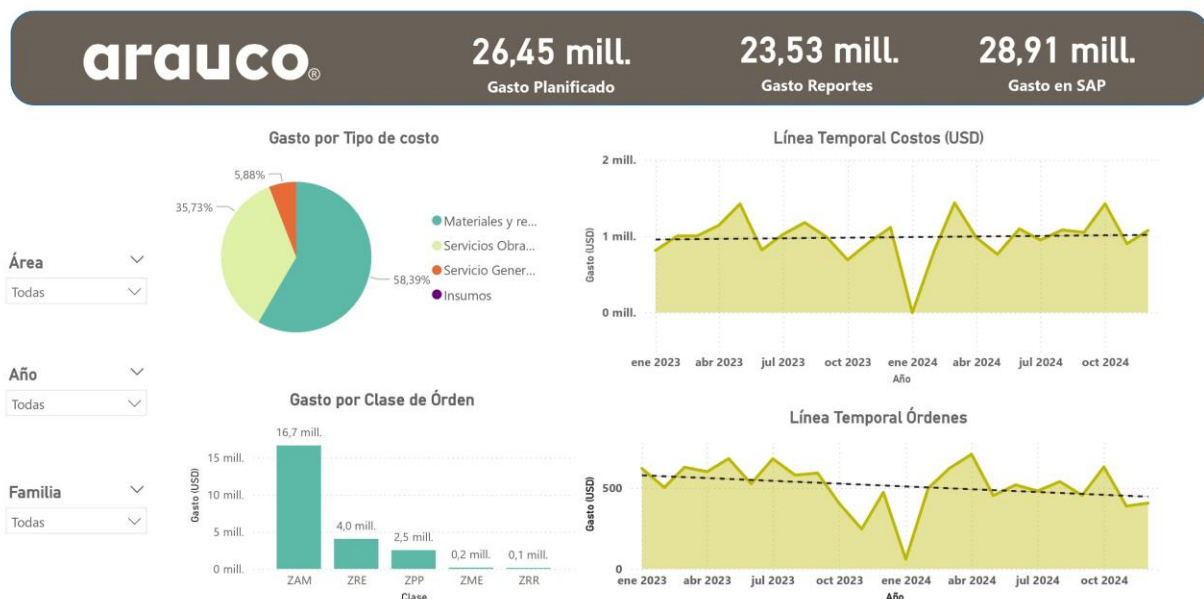
4.2.4 Resultados esperados

La implementación del procedimiento propuesto busca generar impactos concretos en la gestión operativa y estratégica del área de mantenimiento. Uno de los principales resultados esperado es la mejora en la capacidad de análisis y toma de decisiones, al contar con información consolidada y estructurada sobre los costos asociados a las órdenes de trabajo. Esta trazabilidad permitirá enfocar los esfuerzos operativos en áreas donde realmente se requiera, identificando equipos críticos, analizando si las intervenciones responden a las necesidades actuales según los registros de fallas o componentes con mayor frecuencia, facilitando a la priorización y asignación eficiente de recursos.

También se espera que el análisis exploratorio contribuya a detectar inconsistencias en la gestión actual del inventario de repuestos, particularmente en la política de stock de seguridad. Aunque dicho stock comprende repuestos clasificados como “críticos”, existen indicadores en función a la relevancia operativa de las ubicaciones técnicas asociadas a estos repuestos, que permiten subdividir este grupo y verificar si este stock está realmente alineado con la estrategia de gestión de activos actual.

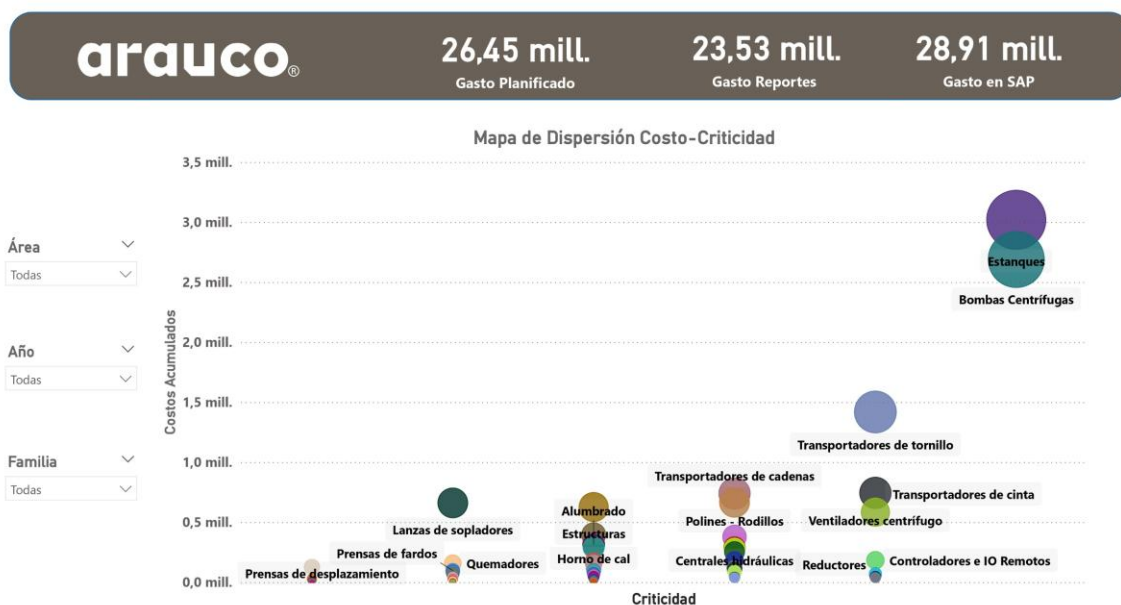
Adicionalmente, se espera mejorar la visibilidad interna de costos a través del desarrollo de reportes interactivos mediante la utilización de softwares como Power BI o Power Apps. Estas plataformas facilitan el acceso a la información clave sin necesidad de recurrir a consultas complejas en SAP, con la intención de promover una mayor autonomía entre las áreas y mejor comunicación entre los equipos, como se muestra en las Figuras 4.2 a 4.6.

Figura 4.2 Reporte interactivo en Power BI – Vista 1



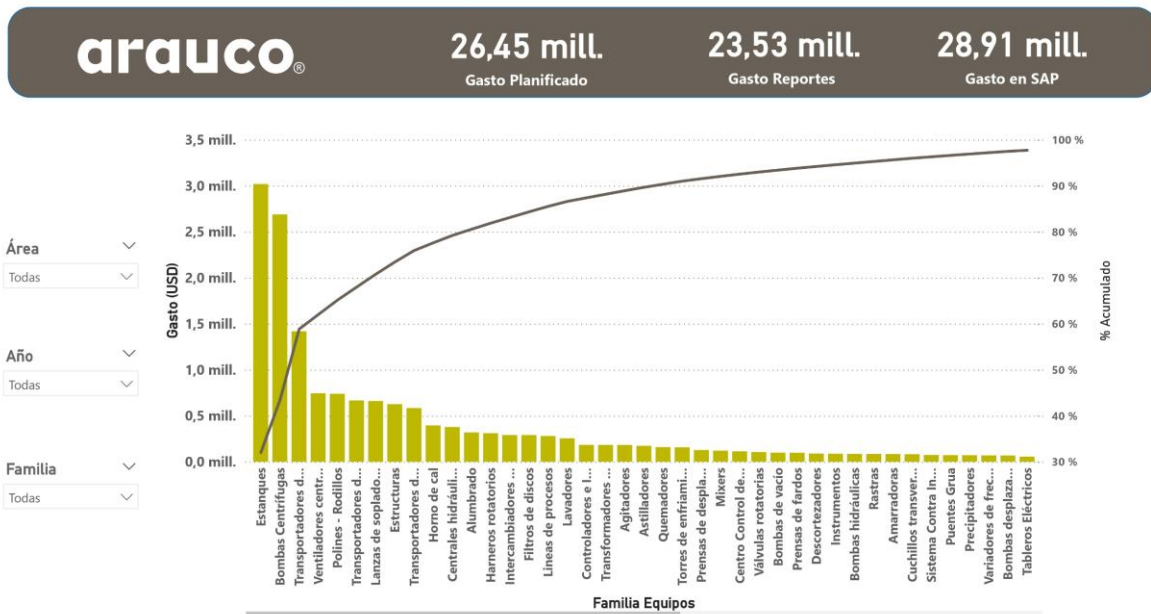
Fuente: elaboración propia

Figura 4.3 Reporte interactivo en Power BI – Vista 2



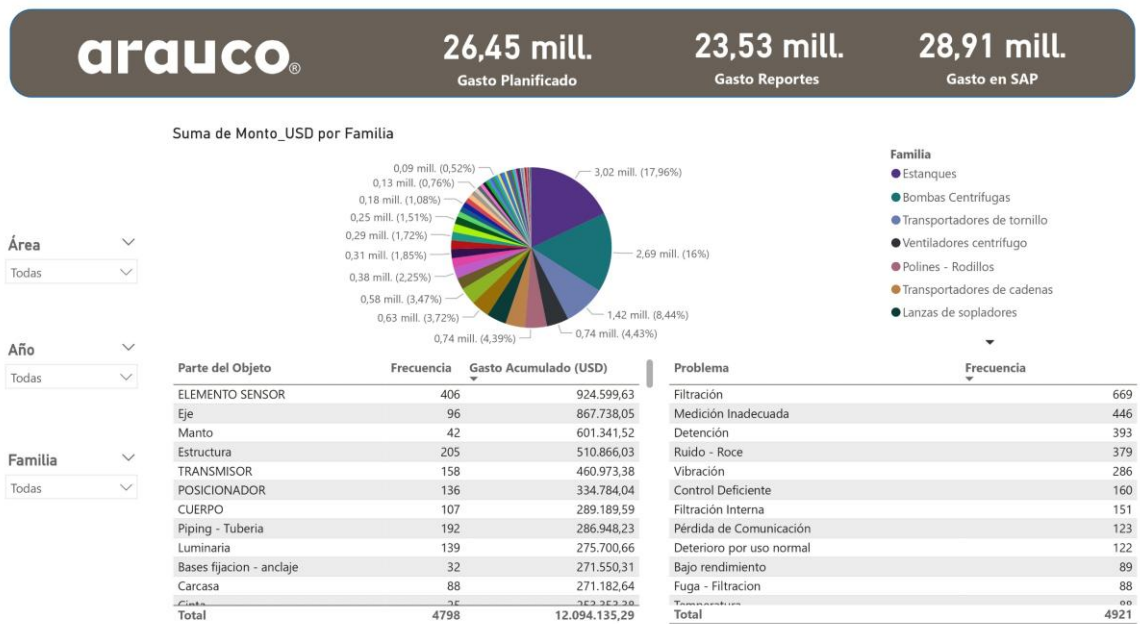
Fuente: elaboración propia

Figura 4.4 Reporte interactivo en Power BI – Vista 3



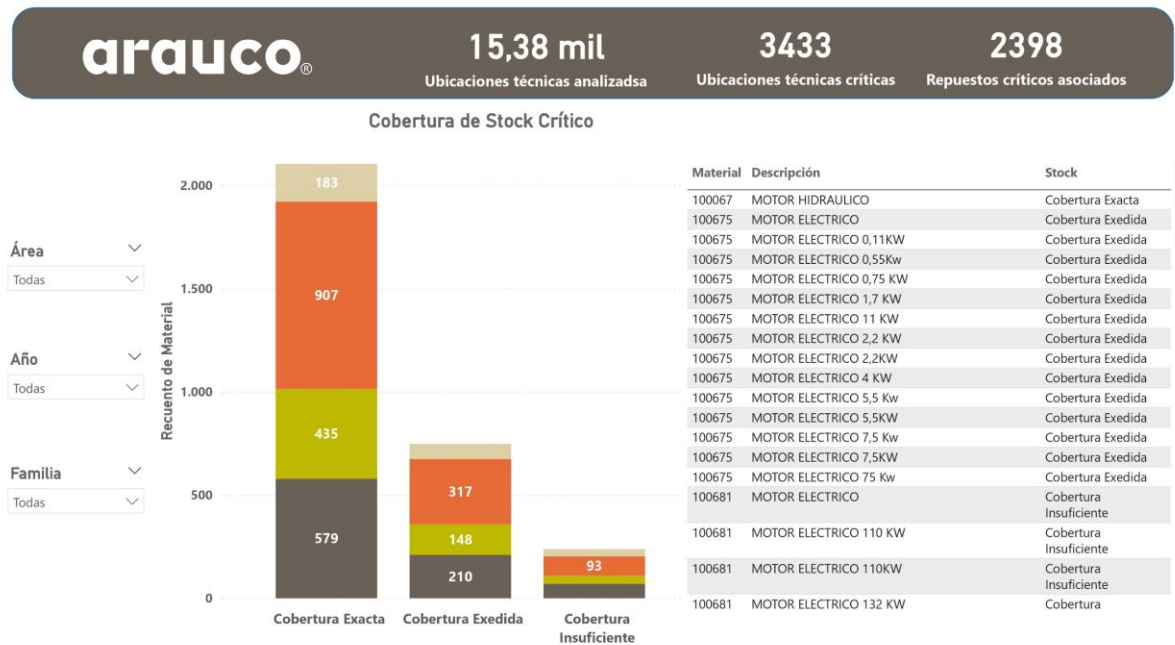
Fuente: elaboración propia

Figura 4.5 Reporte interactivo en Power BI – Vista 4



Fuente: elaboración propia

Figura 4.6 Reporte interactivo en Power BI – Vista 5



Fuente: elaboración propia

En conjunto, el proceso de análisis no solo busca resultados operativos inmediatos, sino consolidar una base técnica que impulse la mejora continua general del proceso.

4.3 Cierre y Conclusiones

Este proyecto permitió explorar y demostrar cómo el uso sistemático de datos históricos puede aportar significativamente en la gestión del mantenimiento, especialmente en un contexto donde la información existe, pero no se utiliza con fines analíticos ni de apoyo a la toma de decisiones operativas y estratégicas. Más que validar una solución definitiva, el objetivo fue desarrollar una herramienta metodológica que permita estructurar y analizar los datos disponibles, constituyendo un primer paso hacia una gestión más informada, basada en evidencia y orientada a la optimización de recursos.

Durante el desarrollo del trabajo se evidenció que gran parte de las dificultades no provienen de la falta de información, sino de la forma en que esta se registra, se interpreta y se comunica entre áreas. La falta de estandarización en campos clave del sistema SAP, como la ubicación técnica o la descripción de fallas, se convierte en una limitante para el análisis, pero también abre oportunidades concretas para avanzar en la calidad de los datos. En conversaciones con el personal, se reconoció que este tipo de evaluaciones no se había realizado anteriormente, en parte porque el uso del sistema aún está en proceso de maduración y ajuste. Sin embargo, se observa una disposición activa a mejorar, y a retroalimentar el proceso a partir de su aplicación en práctica.

Otro de los principales hallazgos fue la concentración significativa de costos en un conjunto reducido de equipos críticos, ya identificados y analizados en los capítulos anteriores. Estos activos no solo presentan altos niveles de inversión en mantenimiento, sino también una recurrencia de fallas que se interpretan como deficiencias en las estrategias actuales de gestión. A ello se suman inconsistencias en la administración del inventario de repuestos críticos, que implican riesgos relevantes de detención no programada y fallas de emergencia, afectando directamente la continuidad operacional del proceso productivo.

Más allá del componente técnico, este proyecto representó una instancia para aplicar herramientas analíticas frente a una situación real, enfrentando las restricciones y complejidades propias del trabajo en terreno. El proceso implicó tomar decisiones con base en lo disponible, filtrar lo relevante, y proponer soluciones ajustadas a las condiciones de la organización. En ese ejercicio, se reforzó la importancia de adaptar los conocimientos adquiridos a entornos dinámicos, priorizando siempre el criterio, la utilidad y la claridad por sobre la sofisticación innecesaria.

En síntesis, este trabajo no pretende entregar verdades absolutas, pero sí plantea una forma concreta y replicable de iniciar un proceso análisis de costos en mantenimiento basados en datos, orientado a decisiones y sensible a la realidad operativa. Más allá del procedimiento, es una invitación a seguir profesionalizando la forma en que se gestionan los activos físicos, entendiendo que la mejora continua parte por observar, interpretar y actuar con base en información confiable y útil.

5 REFERENCIAS

- Arauco. (2024). *Reporte integrado ARAUCO 2024* [Informe anual]. Recuperado de <https://arauco.com/chile/wp-content/uploads/sites/14/2017/07/Reporte-Integrado-ARAUCO-2024.pdf>
- Bonet Borjas, C. (2005). *Ley de Pareto aplicada a la Fiabilidad*. Instituto Superior Politécnico. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=225118188010>
- Drouaillet, A., Rincón, G., Jara, A., & Pérez, J. (2022). *Decisiones gerenciales bajo el principio de Pareto*. Universidad Veracruzana. Recuperado de <https://www.uv.mx/iiesca/files/2022/10/02CA2022-1.pdf>
- Ishikawa, K. (1985). *What is total quality control? The Japanese way*. En Prentice Hall. Recuperado de <https://pgm-online.com/assets/files/lib/books/ishikawa.pdf>
- López, D., & Fernández, A. (2018). *Aplicación en los medios de prensa de un agrupamiento K-Means (Clustering K-Means)*. rches.utem.cl. Recuperado de <https://rches.utem.cl/wp-content/uploads/sites/8/2018/07/Aplicacio%CC%81n-en-los-medios-de-prensa-de-un-agrupamiento-K-Means-Clustering-K-Means.pdf>
- López-Robles, J. R., Otegi-Olaso, J. R., Porto-Gómez, I., Gamboa-Rosales, H., & Gamboa-Rosales, N. K. (2020). *La relación entre Inteligencia de Negocio e Inteligencia Competitiva: un análisis retrospectivo y bibliométrico de la literatura de 1959 a 2017*. Recuperado de <https://redc.revistas.csic.es/index.php/redc/article/view/1061>
- Montilla Montaña, C. A. (2019). *Mantenimiento industrial y su administración* (Colección Textos Académicos). Universidad Tecnológica de Pereira. Recuperado de <https://repositorio.utp.edu.co/entities/publication/72d1ea70-fb67-42d8-a541-62a9a05bb057>
- Mora Gutiérrez, L. A. (2009). *Mantenimiento: planeación, ejecución y control* (1.^a ed.). Alfaomega Grupo Editor. Recuperado de <https://books.google.com/books?id=TYc3DQAAQBAJ>
- Novoa-Torres, N., Bermúdez-Huérfino, D. R., & Zamora-Carrillo, H. (2019). Nociones, consideraciones y ventajas de la inteligencia de negocios BI. *Revista Vínculos: Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 16(2), 280–287. <https://doi.org/10.14483/2322939X.15592>

- Olarte, W., Botero, M., & Cañón, B. (2010). *Importancia del mantenimiento industrial dentro de los procesos de producción*. En *Scientia et Technica* (Vol. 16, Núm. 44, pp. 354–356). Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/849/84917316066.pdf>
- Ospina Usaquén, M. Á., Medina García, V. H., & Rodríguez Molano, J. I. (2020). *Integración de la inteligencia de negocios, la inteligencia de mercados y la inteligencia competitiva desde el análisis de datos*. RISTI – Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Información (E34), 609–619. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Miguel-Angel-Ospina-Usaquen/publication/344754398_Integracion_de_la_Inteligencia_de_Negocios_la_Inteligencia_de_Mercados_y_la_Inteligencia_Competitiva_desde_el_analisis_de_datos.pdf
- Rosado, A. A., & Rico, D. W. (2010). *Inteligencia de negocios: estado del arte*. *Scientia et Technica*, 16(44), 321–326. Recuperado de <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/1803/1209>
- Scikit-learn developers. (2025). *K-Means*. En 2.3. Clustering — scikit-learn 1.5.0 documentation. Recuperado de <https://scikit-learn.org/stable/modules/clustering.html#k-means>
- Sinaga, K. P., & Yang, M. – S. (2020). *Unsupervised K-Means Clustering Algorithm*. *IEEE Access: Practical Innovations, Open Solutions*, 8, 80716–80727. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9072123>
- Zohuri, B., & Moghaddam, M. (2020). *From Business Intelligence to Artificial Intelligence*. *Journal of Material Sciences & Manufacturing Research*, 1(1), 1–10. Recuperado de <https://www.onlinescientificresearch.com/articles/from-business-intelligence-to-artificial-intelligence.pdf>

6 ANEXOS

Anexo A. Procedimiento Propuesto

Procedimiento para Análisis de Costos en Mantenimiento		arauco
Fecha de Revisión:	Preparado por:	
Fecha de Vigencia:	Revisado y aprobado por:	

I - OBJETIVO

Diseñar un procedimiento formal para mejorar la gestión de los recursos en el área de mantenimiento de Celulosa Arauco, mediante un análisis estructurado de los costos asociados a las órdenes de trabajo.

II - ALCANCE

Se aplica exclusivamente en el área de mantenimiento, sin incorporar otras áreas de la organización que comparten recursos o generan impactos cruzados. Esta delimitación garantiza un análisis profundo y manejable.

III - SECTORES INVOLUCRADOS

- SG Mantención
- SI. Mant. Fibra Madera Maquina
- SI. Mant. Licor CyH Efluente P.Agua
- SI. Servicios Eléctricos
- SI. Mantención Central
- SI. Planificación
- SI. Confiabilidad

IV - GLOSARIO

OT: Documento formal mediante el cual se planifican, ejecutan y registran las intervenciones de mantenimiento sobre equipos o instalaciones. Es la unidad básica de análisis en este procedimiento, y contiene información clave como tipo de trabajo, equipo intervenido, costos asociados y tiempos de ejecución.

Mantenimiento Correctivo: Estrategia de mantenimiento que se ejecuta una vez que la falla ha ocurrido, con el fin de restaurar el equipo a su condición operativa. Puede ser planificado o no planificado, dependiendo del contexto de la intervención.

Mantenimiento Preventivo: Conjunto de acciones programadas que buscan evitar fallas mediante inspecciones, ajustes, reemplazos o limpieza periódica de los equipos. Su objetivo es asegurar la continuidad operativa y reducir costos inesperados.

Mantenimiento Predictivo: Estrategia que utiliza datos de condición del equipo (como vibraciones, temperatura o desgaste) para anticipar fallas antes de que ocurran. Requiere técnicas de monitoreo continuo y análisis especializados.

Criticidad (ABC): Clasificación que permite jerarquizar equipos o repuestos según su impacto en el proceso productivo, donde:

S: Supercrítico

P: Prioritario

K: Crítico

O: Complementario

Stock de Seguridad: cantidad mínima de repuestos o materiales que se debe mantener en bodega para evitar quiebres de inventario en caso de una falla inesperada. Su correcta definición es fundamental para minimizar riesgos operativos.

Business Inteligencie (BI): conjunto de herramientas, metodologías y tecnologías que permiten transformar datos en información útil para la toma de decisiones.

Análisis de Pareto: técnica que permite identificar los factores más relevantes dentro de un conjunto de datos, aplicando el principio 80/20.

V - RESPONSABILIDADES

Planificadores y Personal supervisor: tienen la responsabilidad de registrar y cerrar adecuadamente cada orden de trabajo en el sistema SAP, asegurando que los campos críticos, como la ubicación técnica, la descripción de la intervención y los componentes reemplazados, se encuentren debidamente completados. Esta área también debe colaborar activamente en la validación de los hallazgos obtenidos a partir del análisis de datos.

Bodega: debe monitorear los niveles de stock de seguridad, contrastando las existencias con el historial de consumo y criticidad de los equipos. Asimismo, es responsable de proponer ajustes en la política de inventario cuando se identifiquen repuestos con cobertura inadecuada o exceso de stock en materiales de baja prioridad.

Confiableidad: responsable de mantener actualizadas las herramientas de análisis utilizadas, como dashboards en Power BI, visualizaciones en Excel o segmentaciones realizadas en Python. Además, debe monitorear los indicadores clave de desempeño (KPIs), evaluar su evolución en el tiempo.

Subgerencia de Planta y superintendencias: rol estratégico en la gobernanza del procedimiento. Esta unidad es responsable de validar e impulsar formalmente la implementación del proceso propuesto, definir sus objetivos, alcances e indicadores de desempeño, y asegurar la asignación de recursos necesarios para su ejecución. Asimismo, debe velar por la coherencia del procedimiento con los lineamientos operativos y estratégicos de la planta, garantizando su sostenibilidad en el tiempo.

VI - DESCRIPCIÓN

6.1 Condiciones de aplicación

El proceso debe ser aplicado de manera periódica y/o bajo ciertas condiciones específicas que justifiquen la necesidad de evaluar el comportamiento de los costos asociados a las órdenes de trabajo.

- Al cierre de cada campaña de mantenimiento.
- Cuando se identifiquen desviaciones significativas respecto al presupuesto asignado
- Ante un aumento inusual en la frecuencia de intervenciones o paradas no programadas.
- Por solicitud de la jefatura de mantenimiento o subgerencia de planta.
- Durante el proceso de revisión del stock de repuestos críticos.

En todos los casos, la aplicación del procedimiento debe estar coordinada entre las áreas de mantenimiento, planificación, confiabilidad y gestión de inventario, con el respaldo de la jefatura responsable.

6.2 Descripción del procedimiento (Etapas)

Dado que el objetivo es analizar datos internos de mantenimiento para detectar oportunidades de mejoras en la gestión de recursos, se adopta un enfoque BI

6.2.1 Extracción de datos

Esta fase consiste en recolectar información desde diversas fuentes internas, esta información debe ser descargada desde SAP, considerando registros de órdenes de trabajo con las siguientes características:

- N° Orden
- N° Aviso
- Descripción de la Orden
- Descripción del aviso
- Fecha de creación
- Área de la empresa
- Puesto de trabajo responsable
- Ubicación técnica
- Familia de equipos
- Prioridad de la orden
- Criticidad
- Costo asociado a la orden
- Clasificación del costo

- Centro de costo asociado
- Clase de la orden
- Clase del aviso

La obtención de estos datos puede requerir la combinación de diferentes transacciones de SAP. Entre las principales utilizadas en esta etapa se encuentran:

- IW39: Visualizar órdenes
- IH06: Visualizar ubicaciones técnicas
- IW29: Visualizar Avisos
- IH09: Visualizar material
- IH08: Visualizar equipos
- IW69: Avisos posición
- ME2M: Pedidos por material

La correcta extracción de esta información es crítica, ya que constituye la base para el análisis posterior. Se recomienda validar los filtros aplicados en cada transacción, así como verificar que no existan duplicidades ni registros incompletos antes de avanzar a la siguiente etapa.

6.2.2 Almacenamiento de datos

Se procede a su almacenamiento en un formato que facilite su tratamiento y análisis. Para ello, se recomienda utilizar Microsoft Excel como herramienta principal de trabajo, dado su nivel de compatibilidad con otras plataformas y su facilidad de uso.

En esta etapa, se organiza la información en una estructura tabular, asegurando que cada columna represente una variable claramente definida (por ejemplo, número de orden, fecha, familia de equipo, tipo de intervención, monto en USD, etc.). Asimismo, se realiza una primera validación para detectar errores evidentes en los registros, como celdas vacías, formatos inconsistentes, fechas fuera de rango o campos mal codificados.

Figura 6.1 Ejemplo de estructura.

Descripción	Aviso	Ubicación técnica	área	Equipo	Indicador ABC	Criticidad	Costos tot.

Fuente: elaboración propia

6.3.3 Procesamiento y transformación

Una vez almacenada la información, se realiza una etapa de procesamiento orientada a preparar los datos para su análisis. Esta fase incluye tareas de depuración, codificación y estandarización.

En particular, se aplican procesos de estandarización de nombres y categorías, tanto en los equipos como en las fallas registradas, ya que frecuentemente existen inconsistencias derivadas del ingreso manual o de diferencias entre usuarios. Por ejemplo, un mismo equipo puede figurar con variaciones ortográficas o en distintas ubicaciones técnicas que no reflejan su posición real. Asimismo, las descripciones de fallas suelen tener una alta variabilidad en su redacción, lo que dificulta su agrupación sistemática si no se normalizan previamente.

En esta etapa se incluye:

- Unificación de nombres de equipos y ubicaciones técnicas bajo un criterio común.
- Clasificación de fallas o intervenciones mediante etiquetas o palabras clave derivadas de la descripción libre.
- Conversión de fechas, formatos monetarios y unidades de tiempo a formatos estándar.
- Eliminación de registros duplicados, incompletos o inconsistentes.

6.4.4 Análisis de la información

Con la base de datos ya depurada y estructurada, se procede al análisis de la información. En esta etapa se aplican herramientas exploratorias tanto cuantitativas como visuales. El análisis cuenta con la aplicación del principio de Pareto, segmentaciones y análisis exploratorio de los datos, que permiten identificar los equipos, fallas y componentes que concentran el mayor porcentaje del gasto acumulado.

6.5.5 Presentación de resultados

Una vez concluido el análisis de los datos, los hallazgos deben ser organizados y comunicados de manera clara y estructurada para facilitar su interpretación por parte de la jefatura, planificación y otras áreas involucradas en la toma de decisiones.

Se recomienda elaborar un informe técnico que resuma los resultados más relevantes del análisis, incluyendo visualizaciones gráficas, tablas de resumen y observaciones interpretativas. Este informe debe abordar, al menos, los siguientes aspectos:

- Segmentación de órdenes por comportamiento.
- Equipos o familias que concentran el mayor costo acumulado.
- Tipos de orden más frecuentes y su distribución por criticidad.
- Desviaciones significativas respecto a campañas anteriores
- Comportamiento del stock de repuestos en relación con los equipos más intervenidos.

se recomienda el uso de herramientas como Power BI o Excel, que permiten construir dashboards interactivos con filtros por familia, tipo de orden, periodo de análisis y centro de costos. Esto facilita la exploración autónoma de los datos por parte de los usuarios finales.

Figura 6.2 Indicadores sugeridos (KPIs)

Indicador	Unidad	Descripción
OTs incompletas	%	Evalúa calidad el registro
Costo promedio OT	USD	Evalúa eficiencia
Equipos más costosos	USD	Detección de focos
Repuestos sin stock	%	Mide el riesgo
Desviaciones de costos	%	Detecta inconsistencias

Fuente: elaboración propia

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN – FACULTAD DE INGENIERÍA

RESUMEN MEMORIA DE TITULO

Departamento: : Departamento de Ingeniería Industrial

Carrera: : Ingeniería Civil Industrial

Nombre del memorista: : Felipe Ignacio Bravo Yáñez

Título de la Memoria : Propuesta de Procedimiento para Optimizar la Gestión de Recursos mediante un Estudio y Análisis de Costos en el Área de Mantenimiento

Fecha presentación oral:

Profesor Guía : Alejandro Andalaft C.

Profesor Revisor : Jorge Jiménez del R.

Concepto:

Calificación:

Resumen (máximo 200 palabras)

La memoria propone un procedimiento para optimizar la gestión de recursos en el área de mantenimiento de Celulosa Arauco, mediante el análisis de costos asociados a órdenes de trabajo registradas en SAP. A partir de una base de datos histórica de dos campañas, se emplearon herramientas de Business Intelligence (Python, Excel, Power BI) y técnicas como análisis exploratorio, agrupamiento K-Means y análisis de Pareto. Los resultados revelaron una alta concentración de costos en un grupo reducido de equipos críticos, deficiencias en los registros (como descripciones incompletas y ubicaciones técnicas incorrectas), y desviaciones entre los costos reportados y registrados. También se detectaron inconsistencias en la gestión del inventario de repuestos críticos, con sobrestock en materiales de baja prioridad y escasez en elementos estratégicos.

Con base en estos hallazgos, se diseñó un procedimiento estructurado en cinco etapas: extracción, almacenamiento, procesamiento, análisis y presentación de resultados. Este busca estandarizar el análisis de costos, mejorar la trazabilidad de la información y sustentar decisiones estratégicas con datos confiables. Su implementación periódica permitiría fortalecer el control del mantenimiento, priorizar recursos, y avanzar hacia una gestión más eficiente y basada en evidencia.
--