



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**DEPARTAMENTO INGENIERÍA MECÁNICA**



**ESTUDIO DE ACTUALIZACIÓN DE COMPONENTES FILTROS LASTA  
PARA PLANTA DE FILTROS DIVISIÓN CHUQUICAMATA**

POR

**JAVIERA NICOLE LLANOS DE LA TORRE**

Memoria de Título presentada a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción para  
optar al título profesional de Ingeniera Civil Mecánica

Profesor Guía:  
Cristian Alberto Cuevas Barraza

Marzo 2025  
Concepción (Chile)

© 2025 Javiera Nicole Llanos De la Torre

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

## AGRADECIMIENTOS

*Al finalizar este trabajo, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que, de una u otra forma, contribuyeron a la realización de esta memoria de título y al desarrollo de mi formación profesional.*

*En primer lugar, quiero agradecer a Codelco, División Chuquicamata, por brindarme la oportunidad de desarrollar este estudio en su Planta de Filtros. Agradezco especialmente al equipo de operaciones y mantenimiento, quienes me entregaron su conocimiento, apoyo y disponibilidad durante toda mi estadía en faena.*

*A Pablo Varas y Karla Fuentes, quienes no solo compartieron su experiencia y conocimientos conmigo, sino que también me brindaron su tiempo, su apoyo y su confianza*

*Finalmente, a mi familia, quienes han sido mi pilar fundamental. A mis padres Mónica y Hugo por su amor incondicional, su apoyo constante y por creer en mí en todo momento. A mi hermana Gabriela, por estar siempre presente y por ser una fuente de inspiración y fortaleza. Sin su respaldo, este logro no habría sido posible.*

*Este trabajo representa el esfuerzo y dedicación de muchas personas, a quienes les expreso mi gratitud infinita. Gracias por ser parte de este camino.*

## RESUMEN

En la Planta de Filtros de la División Chuquicamata de Codelco, los filtros Lasta han presentado una alta incidencia de fallas no programadas que afectan la eficiencia del proceso de filtración y aumentan los costos de operación. Este estudio evalúa la viabilidad técnica de reemplazar los filtros Lasta actuales por el modelo MCFGC-1500, con el objetivo de mejorar el rendimiento operativo y reducir las detenciones imprevistas.

Para ello, se realizó un análisis exhaustivo del estado actual de los filtros Lasta, identificando los componentes críticos responsables de la mayor cantidad de fallas. A través de un análisis Jack Knife, se determinaron como principales elementos problemáticos el conjunto Placa, el Cabezal y las Compuertas. Además, se evaluó el impacto de las condiciones operativas y del mantenimiento correctivo sobre la vida útil de los componentes, concluyendo que la falta de un mantenimiento preventivo adecuado y la operación fuera de los rangos recomendados han acelerado el deterioro de los equipos.

El estudio también evidenció una correlación directa entre el desgaste prematuro de las placas y la rotura de las telas filtrantes, lo que ha generado un aumento del 50% en el consumo de telas en el último año. Este hallazgo resalta la necesidad de implementar estrategias de mantenimiento predictivo y de optimizar la gestión de repuestos.

Finalmente, se evaluó la factibilidad de implementar el modelo de filtro Ishigaki MCFGC-1500, concluyendo que este ofrece mejoras significativas en eficiencia operativa y reducción de costos de mantenimiento. Sin embargo, antes de su implementación, se recomienda realizar un análisis financiero detallado que permita cuantificar su impacto económico a largo plazo. La modernización de los filtros, junto con la adopción de estrategias de mantenimiento predictivo, permitiría optimizar la operación de la planta y mejorar la confiabilidad del proceso de filtración.

**Palabras clave:** Filtros Lasta, Mantenimiento Predictivo, Eficiencia Operativa, Planta de Filtros, Codelco, Modernización Tecnológica.

## **ABSTRACT**

At the Filtration Plant of Codelco's Chuquicamata Division, the Lasta filters have shown a high incidence of unscheduled failures, affected filtration efficiency and increased operational costs. This study evaluates the technical feasibility of replacing the current Lasta filters with the MCFGC-1500 model, aiming to improve operational performance and reduce unexpected shutdowns.

To achieve this, an in-depth analysis of the current state of the Lasta filters was conducted, identifying the critical components responsible for the most failures. Through a Jack Knife analysis, the most problematic elements were determined to be the Plate, Head, and Gate assembly. Additionally, the impact of operational conditions and corrective maintenance on component lifespan was assessed, concluding that the lack of adequate preventive maintenance and operation outside recommended ranges have accelerated equipment deterioration.

The study also revealed a direct correlation between premature plate wear and increased breakage of filter cloths, leading to a 50% rise in cloth consumption over the past year. This finding highlights the need to implement predictive maintenance strategies and optimize spare parts management.

Finally, the feasibility of implementing the MCFGC-1500 Ishigaki filter model was evaluated, concluding that it offers significant improvements in operational efficiency and reduced maintenance costs. However, before implementation, a detailed financial analysis is recommended to quantify its long-term economic impact. The modernization of the filters, combined with the adoption of predictive maintenance strategies, would optimize plant operations and enhance the reliability of the filtration process.

**Keywords:** Lasta Filters, Predictive Maintenance, Operational Efficiency, Filtration Plant, Codelco, Technological Modernization.

# Contenidos

CAPÍTULO 1: Introducción.....	8
1.1 Contexto.....	8
1.2 Objetivos.....	10
Objetivo General.....	10
Objetivos Específicos.....	10
1.3 Metodología.....	11
2 CAPÍTULO 2: Descripción del Proceso Productivo.....	12
2.1 Contexto Divisional.....	12
2.2 Planta de Filtros.....	14
2.3 Filtros Lasta.....	17
3 CAPÍTULO 3: Análisis de Desempeño y Priorización de Mantenimiento en Filtros Lasta.....	23
3.1 Justificación del Estudio enfocado en Planta Lasta.....	23
3.2 Análisis de las Horas de Detención de Filtros Lasta.....	24
3.3 Análisis de Detenciones por Conjuntos de Cada Filtro Lasta.....	25
3.4 Conclusión del Análisis de Pareto por Conjuntos.....	30
CAPÍTULO 4: Evaluación de Componentes Críticos y Propuesta de Mejora.....	31
4.1 Análisis de Jack Knife para identificación componentes críticos.....	31
4.1.1 Conjunto Placa.....	32
4.1.2 Conjunto Cabezal.....	33
4.1.3 Conjunto Compuertas.....	34
4.1.4 Conclusión del Análisis de Jack Knife por Conjuntos.....	35
4.2 Análisis Causa-Raíz Componentes Críticos.....	37
4.2.1 Conjunto Placa: Componente Placa.....	38
4.2.2 Conjunto Placa: Componente Tela.....	44
4.2.3 Conjunto Cabezal: Componente Cilindro de Sellado.....	49
4.2.4 Conjunto Compuertas: Componente Compuerta Frontal.....	54
4.2.5 Conclusión del Análisis de Causa Raíz de Componentes.....	59
4.3 Análisis de Componentes del Filtro Ishigaki Recomendados para Implementación.....	61
4.3.1 Propuesta de Reemplazo de Componentes del Filtro Ishigaki.....	61
5 CAPÍTULO 5: Resultados y Discusión Técnica.....	68
5.1 Resultados.....	68

5.2 Discusión Técnica..... 69

6 CAPÍTULO 6: Conclusiones ..... 70

**7. Bibliografía ..... 71**

# CAPÍTULO 1: Introducción

## 1.1 Contexto

Esta memoria nace por el interés de la División Chuquicamata de Codelco debido a la necesidad de optimizar los sistemas de filtración utilizados en su planta de Filtros, con el objetivo de mejorar la disponibilidad operativa y reducir los costos asociados a las fallas recurrentes en los filtros Lasta. La División, reconocida mundialmente por su aporte a la producción de cobre, ofreció un entorno ideal para observar de cerca las exigencias de un mercado global altamente competitivo y la importancia estratégica de mejorar la eficiencia de los procesos clave dentro de la cadena de valor del cobre.

La minería es una de las principales actividades económicas de Chile, representando un pilar fundamental para el desarrollo del país, tanto en términos de contribución al PIB como de generación de empleo y exportaciones. Como el principal productor de cobre en el mundo, con una participación del 24% en la producción global en el año 2022 [1], se debe asegurar la eficiencia en todos los procesos involucrados en la extracción y producción de minerales para mantener su liderazgo en la industria minera. Codelco, que posee un tercio de estos recursos, desempeña un papel crucial en este esfuerzo, siendo responsable de más del 20% de las exportaciones del país, lo que representa el 6,4% del consumo de cobre refinado a nivel mundial [2]. Dentro de este contexto, los sistemas de filtración son esenciales para asegurar la calidad y pureza de los concentrados minerales. Los filtros lastas, en particular, son clave para garantizar la eficiencia operativa en la etapa de filtración del concentrado de cobre. Sin embargo, debido al avance tecnológico y a las crecientes exigencias de la industria, es necesario realizar un estudio de sus componentes. Este análisis busca asegurar que los filtros continúen adaptándose a los desafíos actuales y futuros del sector minero.

La modernización de los filtros lastas es fundamental para mantener la competitividad tecnológica en el sector minero. La integración de materiales avanzados y el perfeccionamiento del diseño de los filtros no solo permiten optimizar los tiempos del proceso de filtración, sino que también permiten obtener un sólido con menor porcentaje de humedad. Actualmente, los tres filtros lastas ubicados en la Planta de Filtros de la Gerencia Concentradora de la división son capaces de filtrar un total de 15 toneladas de concentrado de cobre cada uno, en un ciclo de aproximadamente 15 a 18 minutos, con un porcentaje final de humedad que va desde 8 a 10%. En los sistemas de filtración que funcionan por ciclos, las telas filtrantes deben ser reemplazadas después de un número determinado de ciclos para garantizar que la filtración cumpla con los parámetros de humedad establecidos. Por lo tanto, es de gran interés maximizar el número de ciclos para reducir las mantenciones y los tiempos de inactividad [3]. En la Planta de Filtros la frecuencia de sustitución de estos componentes varía en función de las condiciones operativas y de la composición del concentrado, pero en promedio se reemplazan alrededor de 210 telas mensualmente. Esto es especialmente relevante en un contexto de alta competencia global, donde la eficiencia operativa y la innovación tecnológica son factores clave para mantener y expandir la participación en el mercado.

Desde una perspectiva económica, la minería ha sido históricamente un sector crucial para el desarrollo de Chile, aportando un 11.9% al Producto Interno Bruto (PIB) nacional en 2023,

contribuyendo con un 9% a los ingresos fiscales del año 2022, y representando el 56% de las exportaciones del país en lo que va de 2024 [4]. La optimización de los filtros lastas dentro de este contexto es una estrategia clave para maximizar la producción y reducir los costos. Al mejorar la durabilidad y eficiencia de los filtros, se minimizan los tiempos de inactividad y se disminuyen los gastos de mantenimiento, lo que se traduce en un aumento de la rentabilidad. Además, la optimización permite una mejor gestión de los recursos hídricos y energéticos, lo cual es fundamental para mantener la competitividad del sector frente a las fluctuaciones en los precios de los minerales y los crecientes costos operativos.

El aumento del empleo en las regiones como Coquimbo, Tarapacá y Antofagasta está estrechamente vinculado a la implementación de tecnologías avanzadas en el sector. Entre 1986 y 2012, la tasa de desocupación en el país disminuyó del 12% al 6,4%, siendo las regiones mineras mencionadas anteriormente las que experimentaron las mayores reducciones de desempleo [5]. La modernización de procesos, como la actualización de filtros lastas, requiere no solo mano de obra calificada para operar y mantener equipos más sofisticados, sino también personal técnico y especializado para la instalación, monitoreo y optimización continua de estas tecnologías. Este avance tecnológico impulsa la demanda de trabajadores con nuevas habilidades, lo que no solo aumenta el número de empleos disponibles, sino que también eleva el perfil profesional de la fuerza laboral en estas regiones. Además, la presencia de tecnologías más avanzadas crea un entorno industrial más competitivo, atrayendo inversiones adicionales que pueden resultar en un crecimiento económico regional y, consecuentemente, en un mayor nivel de empleo.

En cuanto al ámbito ambiental, la eficiencia en la filtración del cobre desempeña un papel crucial en la reducción del consumo de recursos como agua y energía, lo que es especialmente relevante en la industria minera, donde el manejo adecuado del agua es fundamental. En 2019, para producir 5.787,4 miles de toneladas de cobre fino, la minería reportó un consumo total de 69,83 m<sup>3</sup>/s de agua, de los cuales el 76% fue agua recirculada, el 18% provino de fuentes continentales, y el 6% fue agua de mar [6]. La optimización de los sistemas de filtración no solo contribuye a reducir estos consumos, sino que también minimiza el impacto ambiental de las operaciones mineras, facilitando el cumplimiento de las normativas ambientales vigentes. Además, una filtración más eficiente mejora la gestión de los residuos sólidos generados, promoviendo prácticas más sostenibles y responsables dentro del sector minero.

Actualmente, existen diversas soluciones y tecnologías emergentes en el campo de la filtración industrial que abordan los desafíos de eficiencia y durabilidad. Sin embargo, la implementación de estas soluciones en la División Chuquicamata presenta desafíos específicos debido a las condiciones operativas particulares de la mina. Dado el impacto tecnológico, económico, ambiental y social, es imprescindible abordar la actualización de los componentes de los filtros lastas en esta división. Este proyecto no solo busca identificar y aplicar las mejoras más adecuadas para el contexto particular de Chuquicamata, sino que también responde a la necesidad de modernización tecnológica, optimizando los recursos y mejorando el rendimiento operativo de la planta, con el objetivo de lograr un desarrollo más sostenible.

## **1.2 Objetivos**

### **Objetivo General**

Determinar si la implementación del modelo de filtro MCFGC-1500, o bien la incorporación parcial de sus componentes, puede mejorar el rendimiento operativo de los filtros de prensa actualmente en uso en la División Chuquicamata de Codelco, en comparación con los filtros modelo MC. El estudio se desarrollará durante los próximos seis meses e incluirá la recolección de información mediante entrevistas al personal de operaciones y mantenimiento, así como visitas a la planta para identificar desafíos y necesidades específicas. Se identificarán y analizarán los componentes críticos que requieren actualización, se evaluarán materiales disponibles, y se medirá el impacto potencial en la eficiencia del proceso de filtración, considerando tiempos de operación, rendimiento comparativo y confiabilidad del sistema. Todo el proceso se llevará a cabo cumpliendo estrictamente los protocolos de seguridad establecidos para las actividades en planta.

### **Objetivos Específicos**

1. Identificar y analizar mediante un estudio de confiabilidad los componentes críticos de los filtros Lasta MC (Filtro Actual) que presentan mayores incidencias operativas, evaluando su desempeño bajo las condiciones actuales.
2. Medir el impacto potencial de la implementación del filtro MCFGC-1500, o de la incorporación de sus componentes, sobre la eficiencia del proceso de filtración, considerando indicadores clave como capacidad de producción, tiempo de operación, etc.
3. Formular una recomendación para la planta sobre la actualización de los filtros, ya sea en su totalidad con el modelo MCFGC-1500 o mediante la actualización de componentes específicos, basándose en los resultados del estudio.

### **1.3 Metodología**

Para abordar el problema de la actualización de los componentes de los filtros lastas en la División Chuquicamata y evaluar la viabilidad del modelo MCFGC-1500, se empleará la siguiente metodología, que permitirá identificar las mejoras necesarias y desarrollar una recomendación sólida para la implementación:

#### **Actividad 1: Revisión del estado Actual de los Filtros Lasta (OE1)**

En esta actividad se llevará a cabo un análisis de los filtros de prensa Lasta que actualmente se encuentran en operación en la división. Esto incluirá la revisión de la documentación técnica, registros de mantenimiento y fallas, y entrevistas con el personal de mantenimiento y operaciones para identificar los componentes críticos que requieren mejoras. Se prestará especial atención a las condiciones operativas actuales que podrían influir en el rendimiento de los filtros.

#### **Actividad 2: Análisis comparativo del impacto en la eficiencia operativa (OE2)**

Se realizará un análisis para medir el potencial impacto de la implementación del filtro MCFGC-1500, o de la incorporación de sus componentes, sobre la eficiencia del proceso de filtración. Esta actividad incluirá la recolección de datos históricos de operación de los filtros actuales (modelo MC), los cuales serán comparados con los parámetros técnicos del modelo MCFGC-1500. Se evaluarán indicadores clave como la capacidad de producción, el tiempo efectivo de operación, la frecuencia de fallas, los costos de mantenimiento y la disponibilidad operativa.

#### **Actividad 3: Formulación de recomendaciones (OE3)**

A partir de los análisis realizados en las actividades anteriores, se formulará una recomendación técnica y económica para la planta. Esta incluirá si conviene implementar el modelo MCFGC-1500 en su totalidad o solo realizar mejoras a componentes específicos de los filtros actuales. La recomendación estará respaldada por datos técnicos obtenidos durante el estudio.

#### **Actividad 4: Cumplimiento de protocolos de seguridad (Transversal)**

Durante las visitas a la planta y las entrevistas con el personal, se garantizará en todo momento el cumplimiento de los protocolos de seguridad establecidos. Esto incluye el uso de equipo de protección personal adecuado y la formación sobre las normas de seguridad vigentes en las instalaciones de la planta.

## CAPÍTULO 2: Descripción del Proceso Productivo

### 2.1 Contexto Divisional

La Corporación Nacional del Cobre es una empresa autónoma, propiedad del Estado de Chile que tiene como objetivo explorar, desarrollar y explotar recursos mineros, para luego procesarlos y producir cobre fino y subproductos que posteriormente son comercializados a clientes en todo el mundo. Codelco cuenta con siete divisiones mineras ubicadas en la zona centro y norte del país, de las cuales Chuquicamata es históricamente conocida como la mina a rajo abierto más grande del mundo y actualmente vive un importante proceso de transformación al transitar sus principales operaciones a mina subterránea.

Chuquicamata subterránea es un proyecto estructural que explota una gran reserva de mineral ubicada a poco más de un kilómetro de profundidad bajo el actual rajo. Las reservas de este yacimiento alcanzan 1028 millones de toneladas de mineral, por lo que Chuquicamata seguirá aportando al desarrollo de Chile por, al menos, cuatro décadas más. [7]

En el año 2022, la producción de cobre fino solo en Chuquicamata fue de más de 268 mil toneladas métricas [4]. Dado su rol como un pilar fundamental de la economía chilena y su reconocida trayectoria en la minería, es crucial que la división mantenga todos sus procesos bajo los más altos estándares de calidad y eficiencia. A continuación, se describen los principales procesos productivos implementados para la obtención de cobre fino como su producto final.

1. **Exploración:** Es el primer paso en el ciclo de la minería, que incluye la búsqueda de yacimientos y la toma de muestras para confirmar la presencia del mineral, así como sus características y calidad.
2. **Extracción:** Consiste en la excavación y recuperación del mineral y se caracteriza por la fractura del macizo rocoso utilizando explosivos. Esta etapa puede realizarse mediante minería subterránea o a cielo abierto, dependiendo de la ubicación del yacimiento y sus características geográficas, lo cual determinará el costo de extracción.
3. **Chancado:** El proceso de chancado se divide en tres etapas principales, cuyo objetivo es reducir progresivamente el tamaño del mineral. En el chancado primario, el mineral se reduce a un tamaño de entre 8 a 10 pulgadas. En el secundario, se reduce a 1.5 pulgadas, y finalmente, en el terciario, a 0.5 pulgadas, que es el tamaño ideal para el siguiente paso, la molienda.
4. **Molienda:** Implica la reducción adicional del mineral anteriormente chancado. Para esto se utilizan molinos de bolas, de barras o molinos SAG. En estos equipos, el mineral se mezcla con cal y agua, y el movimiento giratorio permite reducir la granulometría hasta los 180 micrones, generando una pulpa de concentrado.

5. Flotación: El material obtenido de la molienda se introduce en celdas de flotación, donde se agregan reactivos como espumantes y colectores. Estos ayudan a formar una espuma que contiene las partículas de cobre y molibdeno, las cuales se adhieren a las burbujas de aire, mientras que los demás minerales no deseados permanecen en la pulpa. La espuma se separa de la pulpa y recibe el nombre de concentrado colectivo. El concentrado colectivo es dirigido hacia la planta de Molibdeno, mientras que el resto de la pulpa, conocido como relaves, se envía a un área de almacenamiento especializada.
6. Planta de Molibdeno: A la llegada del concentrado colectivo a la planta de Molibdeno, este es tratado con ácido sulfúrico, para luego ingresar al proceso de flotación primaria, donde la capa superior de espuma es tratada para obtener maxisacos de molibdeno; mientras que el concentrado restante, también llamado cola, es enviado a la Planta de Filtros y recibe el nombre de Concentrado de Cobre.
7. Planta de Filtros: El concentrado se deposita en los espesadores, que sedimentan el material y separan las aguas limpias mediante floculantes. Luego, el concentrado con mayor contenido de sólido es llevado hacia los filtros, donde se reduce su humedad hasta obtener cobre fino.

## 2.2 Planta de Filtros

En esta sección se abordará en detalle el proceso de producción dentro de la planta de filtros, donde el concentrado de cobre, previamente tratado en la planta de molibdeno, pasa por una serie de etapas que permiten la separación del agua y la obtención de un producto sólido al que comúnmente se le denomina queque. Se describirán los principales equipos utilizados y su función dentro del acondicionamiento y deshidratación del concentrado.

En una primera instancia, el concentrado de cobre es recibido en la planta de filtros a través de una canaleta, hasta ser depositado en un cajón distribuidor conocido como hexagonal. La planta también cuenta con una línea alternativa de alimentación constituida por una tubería de 10 pulgadas de diámetro. Ambas opciones aseguran un flujo continuo del concentrado, el cual varía entre 200 y 300 metros cúbicos por hora. El hexagonal es una estructura construida de acero al carbono y hormigón, la cual cuenta con un sistema de tres paredes y tres compuertas de accionamiento automático que permiten la distribución controlada de pulpa hacia los espesadores C1, C2 y C3, tal como se puede apreciar en la Figura 2.1.



**Figura 2.1: Vista superior de Distribución de Concentrado desde Hexagonal hacia Espesadores C1, C2 y C3.**  
(Imagen capturada por la empresa).

El concentrado fluye por gravedad hacia el centro de los espesadores a través de tuberías de acero de 12 pulgadas. El objetivo de estos equipos es incrementar el porcentaje de sólido en la pulpa y, al mismo tiempo, permitir la recuperación de agua limpia a través del rebose en la parte superior del espesador. El porcentaje de sólido de alimentación de los espesadores va desde un 35% a un 45%.

Los espesadores funcionan con un sistema de rastras que mantienen el movimiento constante de la pulpa para desplazar la carga hacia el cono del espesador. A medida que las partículas sólidas decantan, el agua limpia es recuperada y enviada a un proceso de tratamiento para su eventual reutilización. El concentrado sedimentado, ahora con un contenido de sólidos entre el 55% y el 70%,

es bombeado desde la descarga de los espesadores hacia el harnero, encargado de retirar las impurezas, y luego se recepciona en el cajón de distribución (Junction Box), el cual tiene la función de distribuir hacia los estanques que alimentan a los filtros.

La planta de filtros cuenta con dos sistemas de filtración, los filtros Lasta y los filtros Larox. Ambos cumplen funciones similares, pero presentan diferencias operativas clave. Por un lado, los filtros Lasta operan en posición horizontal, utilizando más de 70 placas que se cierran herméticamente para recibir la pulpa de concentrado, además, el proceso de filtrado se realiza mediante la inyección de la pulpa a presión dentro de las cámaras formadas por la unión de las placas. Cuenta con una etapa de soplado de aire comprimido que permite reducir el contenido de agua entre un 8% y un 10%. Una vez completado el secado, las placas se abren y se descarga el contenido por gravedad hacia las correas transportadoras.

Mientras tanto, los filtros Larox operan en posición vertical, con 24 placas y una sola tela permeable que permite la filtración del agua sin dejar pasar las partículas sólidas. Este sistema también utiliza aire comprimido para optimizar la deshidratación, sin embargo, cuenta con una etapa extra de compresión a través de un diafragma que se expande dentro de cada cámara de filtrado. Una vez que este proceso finaliza, las placas se abren y la tela comienza a desplazarse gracias a múltiples rodillos, lo que produce que se descargue el contenido por ambos lados del filtro hacia un sistema de correas transportadoras.

En resumen, la planta de filtros es responsable de recibir la pulpa de concentrado de cobre desde la planta de molibdeno, y mediante un sistema de espesadores y filtros, lograr la deshidratación de concentrado hasta obtener un producto con bajo contenido de humedad, que mediante un sistema de correas transportadoras es llevado hacia la Fundición. La Figura 2.2 muestra la disposición general de la planta de filtros y los principales equipos involucrados. (Ver en Anexo 1 Diagrama completo de la Planta).

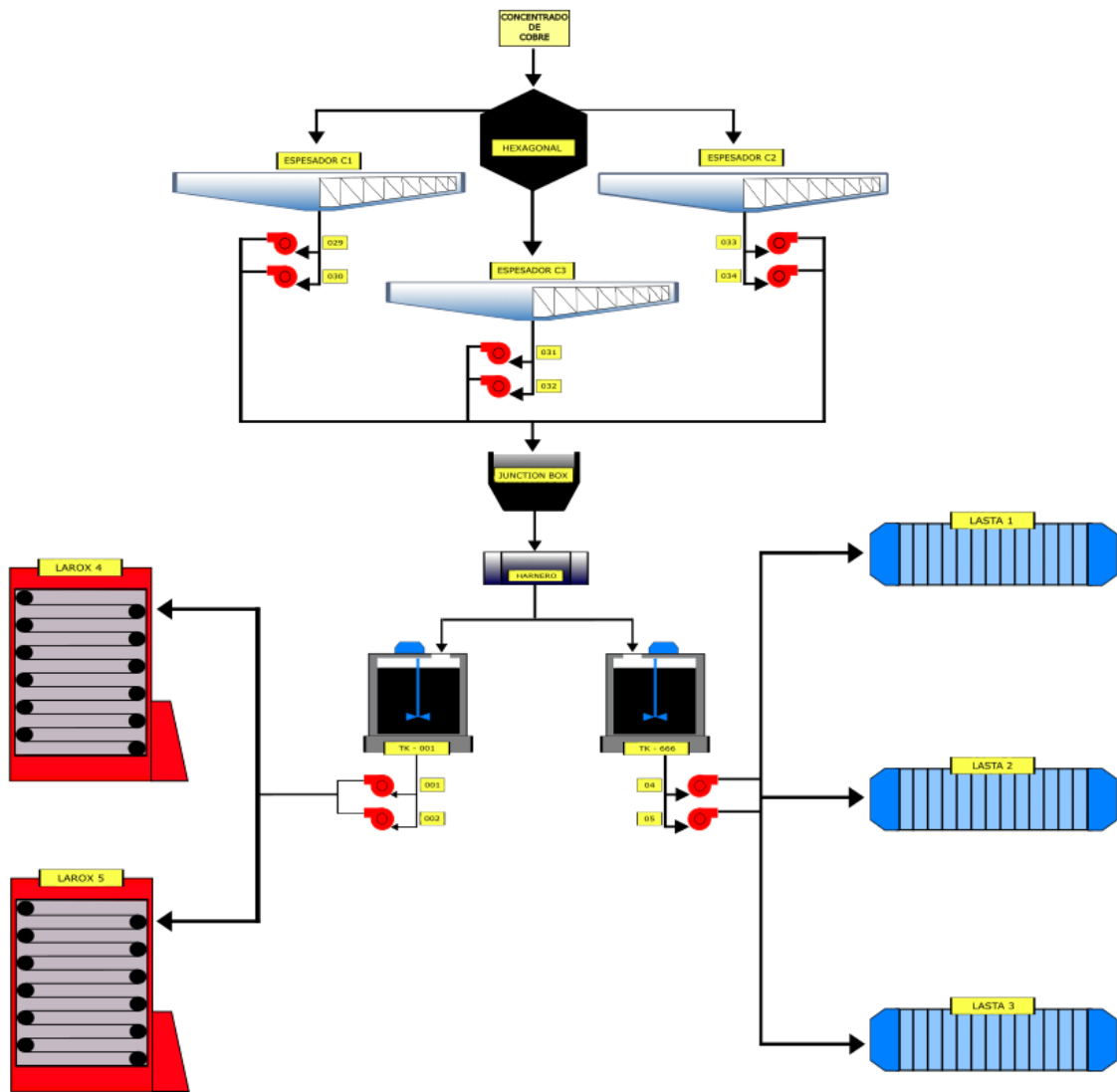
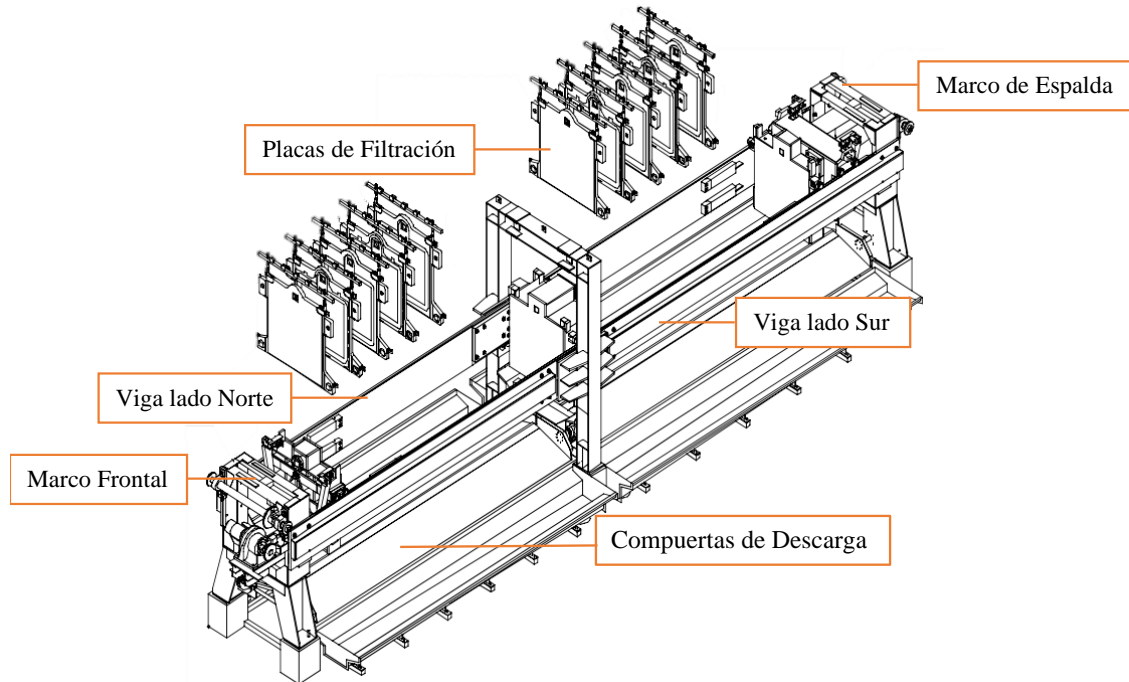


Figura 2.2: Diagrama general Planta de Filtros (*Elaboración Propia*).

## 2.3 Filtros Lasta

En la Planta de Filtros se dispone de tres filtros Lasta, donde cada uno de ellos alcanza los 13 metros de largo; estos operan de la misma manera y presentan características similares en cuanto a su estructura y componentes. Cada filtro Lasta está equipado con un paquete de 71 placas de polipropileno, además de contar con un par de medios filtrantes llamadas telas entre cada par de placas. En la Figura 2.3 se puede apreciar un diagrama general de un filtro Lasta.



**Figura 2.3: Diagrama general Filtro Lasta [8].**

Las placas se montan verticalmente entre dos vigas laterales, las cuales en sus extremos están conectadas a los marcos frontal y espalda, tal como se puede apreciar en la Figura 2.3. Las placas se comprimen entre sí por medio de presión hidráulica y gracias a su geometría forman las cámaras de filtración, las cuales serán alimentadas con concentrado para obtener finalmente el cobre fino.

Los filtros Lasta son alimentados por el estanque TK-Pampa, el cual tiene una capacidad de 70 m<sup>3</sup> y cuenta con un agitador para evitar el embancamiento del concentrado. La Pulpa es impulsada hacia los filtros a través de una bomba centrífuga, en paralelo existe una segunda bomba de iguales características que permite asegurar la continuidad operacional en caso de que la primera presente alguna falla o se encuentre en mantenimiento.

Las etapas consecutivas del proceso de filtración no incluyen la compresión mecánica de la pulpa dentro de las cámaras filtrantes. El ciclo de filtración por presión en los filtros Lasta se desarrolla a través de las siguientes fases:

**Cierre de Prensa:** El cabezal móvil frontal y el tope se mueven hacia el centro de la prensa mediante el motor de desplazamiento de placas. Cuando la cabeza móvil frontal y el tope alcanzan la posición de prensa cerrada, los interruptores de fin de carrera se accionan y detienen el movimiento. Ver Figura 2.4.

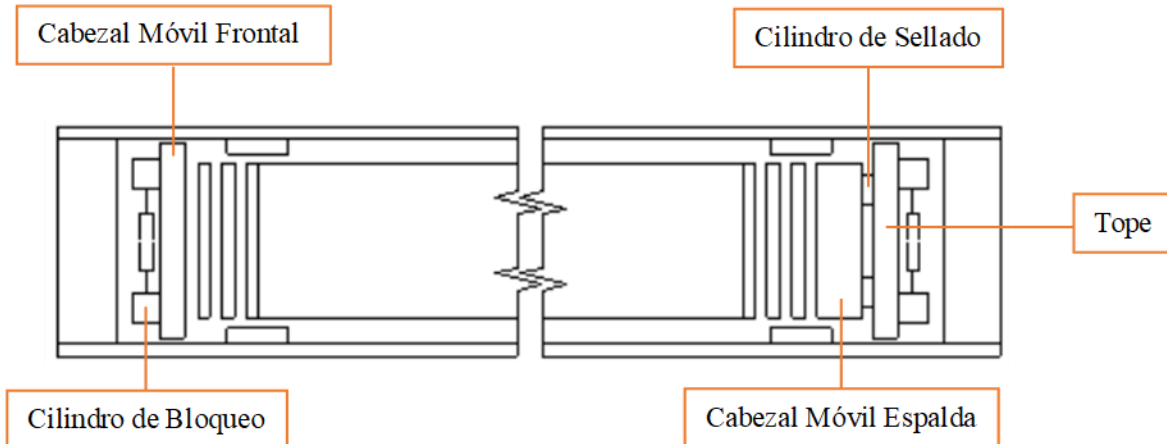


Figura 2.4: Vista superior Filtro Lasta en Estado Inicial [8].

**Bloqueo:** Los bloqueos provistos en el cabezal móvil frontal y el tope se colocan de manera que entren en contacto con los bloques de los rieles mediante los cilindros de bloqueo. El movimiento de bloqueo se controla con los interruptores de límite. Ver Figura 2.5.

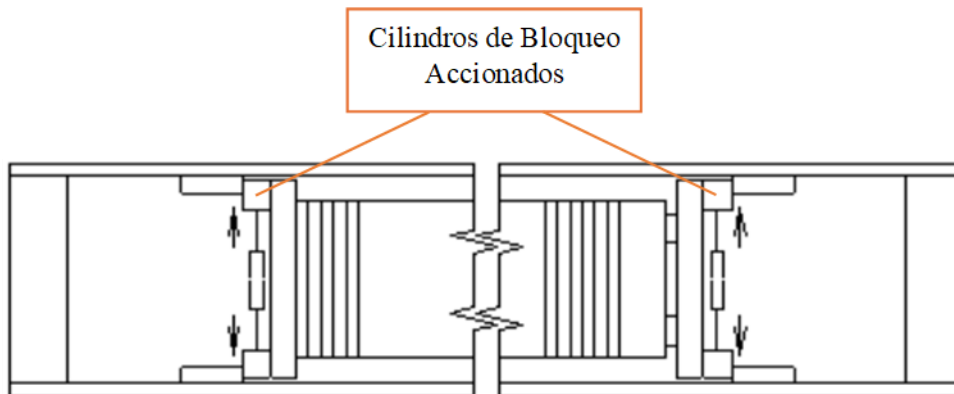
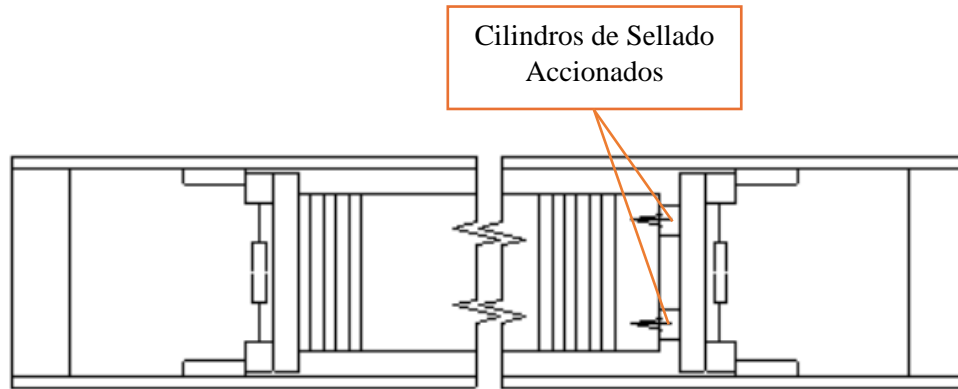


Figura 2.5: Vista superior Filtro Lasta en Etapa de Bloqueo [8].

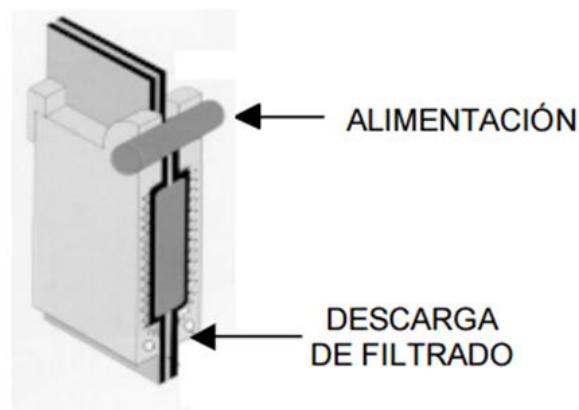
**Sellado:** Las placas deben sellarse para evitar que el concentrado escape de las cámaras de filtración, esto se realiza mediante los cilindros de sellado, los cuales se montan en el tope para empujar el cabezal móvil de espalda y de esta forma generar un apriete en el paquete de placas. La sujeción se controla mediante el interruptor de presión hidráulica (transmisor) en la unidad de potencia hidráulica. Ver figura 2.6.



**Figura 2.6: Vista superior Filtro Lasta en Estado Sellado [8].**

**Filtración:** Cada placa tiene una parte cóncava para formar la cámara de filtrado y ranuras para drenar el líquido que pasa a través de la tela. La cantidad de espacio disponible para llenar con concentrado se denomina volumen de cámara, y el área efectiva de filtración se denomina área de filtración. Estos dos parámetros son los que finalmente determinan el tamaño de la prensa.

La alimentación del concentrado se realiza a través de un núcleo en la parte superior de cada placa; el conjunto total de placas y telas forman un ducto de alimentación dentro del filtro. La pulpa es filtrada por medio de la presión propia que ejerce la alimentación. El agua filtrada atraviesa la tela debido a la presión ejercida por las placas y gracias a las ranuras de la placa escurre hasta la parte inferior, donde es drenada fuera del filtro. Ver Figura 2.7.



**Figura 2.7: Vista en Corte de una Cámara de Filtrado en Etapa de Alimentación [8].**

Luego de la fase de alimentación comienza la etapa de soplado, en la cual se introduce aire comprimido dentro de la cámara a través de un extremo del ducto de alimentación con el objetivo de reducir la humedad del queque. Posteriormente se realiza un lavado y soplado de núcleo, que como su nombre lo indica se encarga de lavar y luego secar, con agua y aire comprimido respectivamente, la tubería de alimentación formada por el conjunto de placas. Ver Figura 2.8.

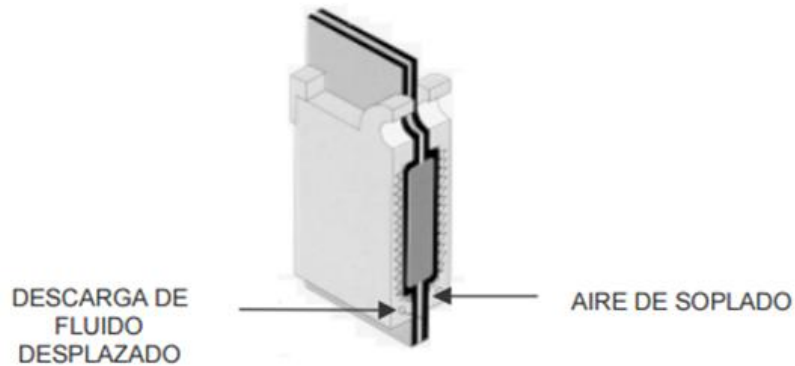


Figura 2.8: Vista en Corte de una Cámara de Filtrado en Etapa de Soplado [8].

**Cierre de Sellado:** Finalizada la etapa de filtración los vástagos de los cuatro cilindros de sellado comienzan a retraerse, y se detienen con el accionamiento del interruptor de final de carrera. Ver Figura 2.9.

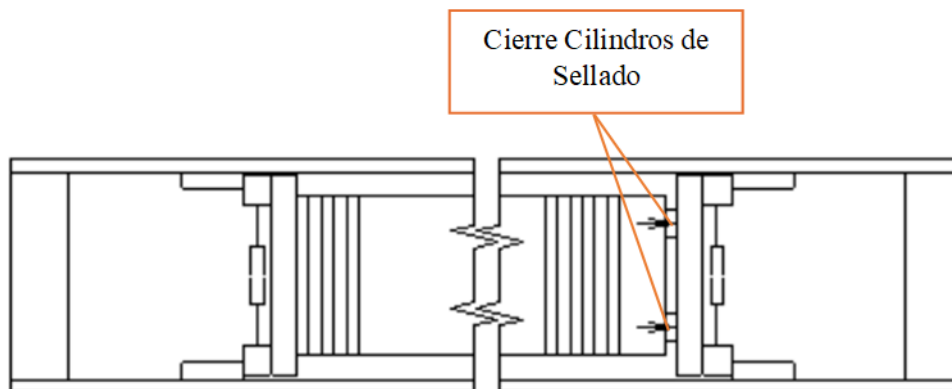


Figura 2.9: Vista superior Filtro Lasta en Estado Cierre de Sellado [8].

**Cierre de Prensa:** Esta etapa constituye un movimiento preliminar al desbloqueo (Fig. 2.10 a)), ya que los cabezales móviles de ambos lados (Frontal y Espalda) se trasladan hacia el centro del filtro para liberar presión y permitir que los cilindros de bloqueo puedan retraerse correctamente (Fig. 2.10 b)).

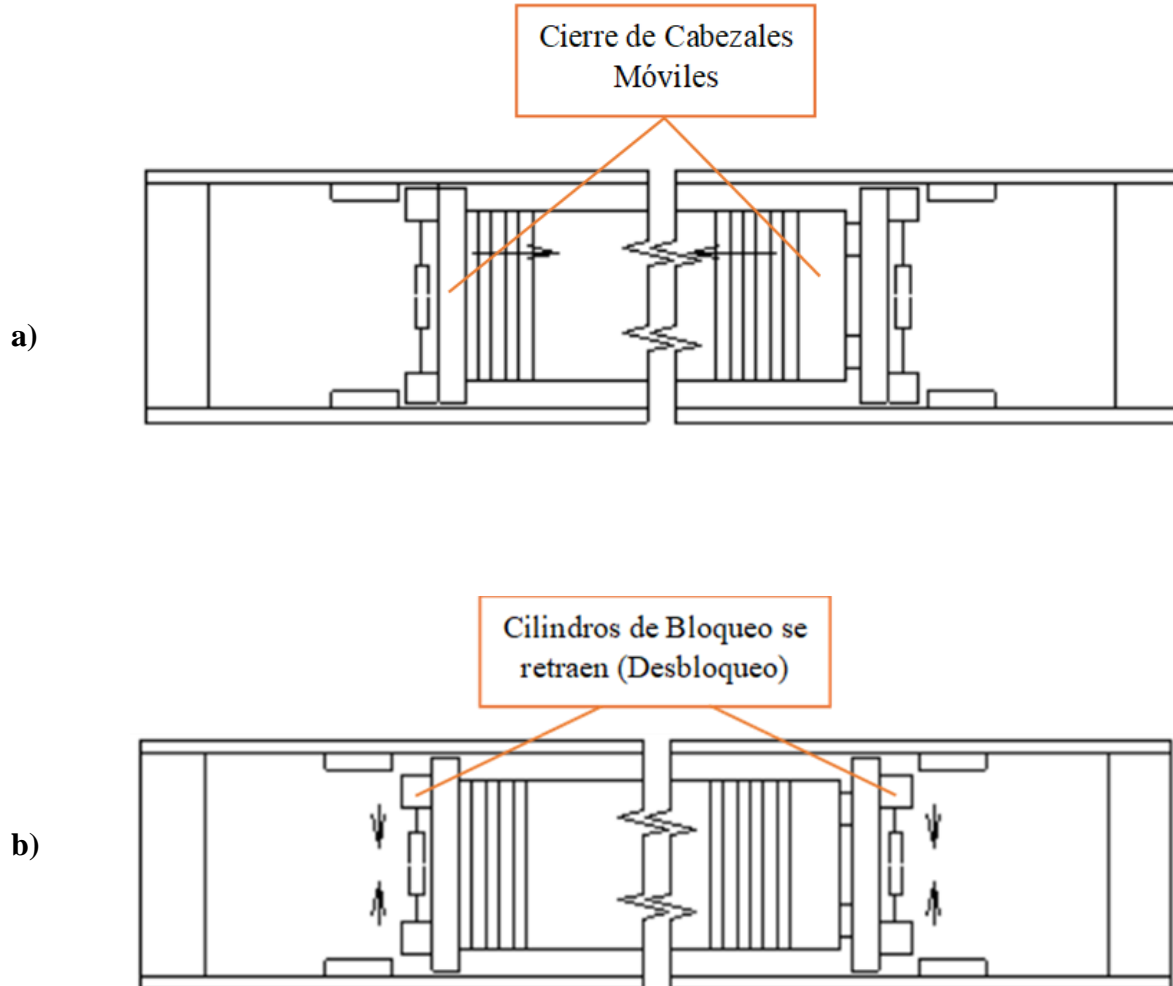


Figura 2.10: Vista superior Filtro Lasta en a) Cierre de Prensa y b) Desbloqueo [8].

**Apertura de Prensa:** Inmediatamente después del desbloqueo, los cabezales móviles de ambos extremos se desplazan hacia el exterior mediante el motor de desplazamiento de placas para comenzar a abrir las cámaras de filtrado. Ver figura 2.11.

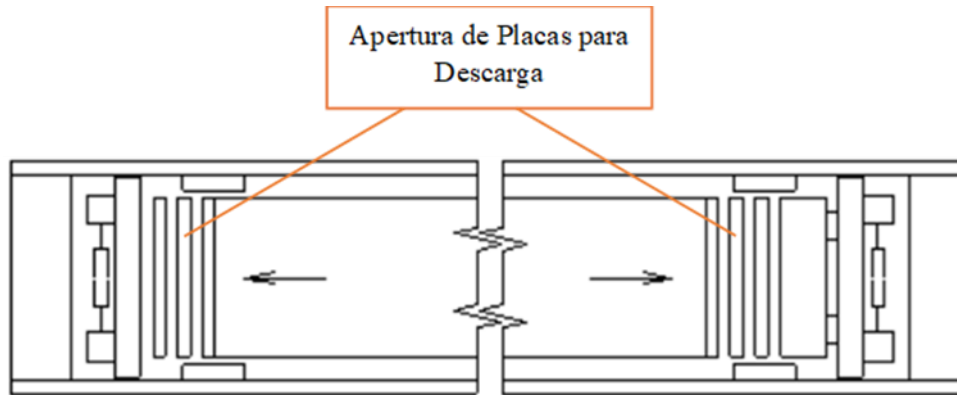


Figura 2.11: Vista superior Filtro Lasta en Estado Apertura de Placas [8].

**Descarga del Queque:** Cuando la prensa se abre, el queque se descarga por gravedad y traspasa las compuertas inferiores para llegar a una correa de transmisión. Ver Figura 2.12.

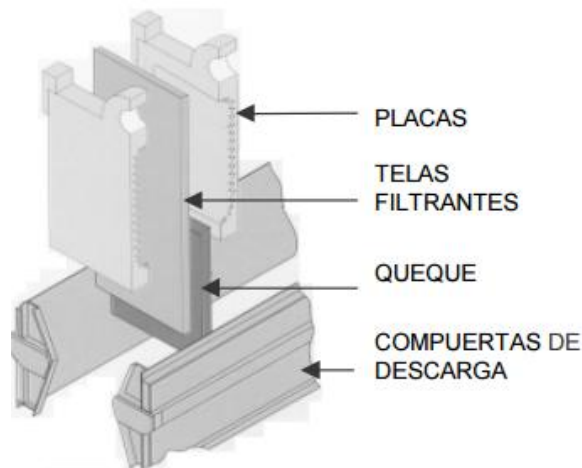


Figura 2.12: Vista Lateral Cámara de Filtrado en Proceso de Descarga [8].

**Lavado de Telas:** Al terminar la descarga del queque, las compuertas se cierran para comenzar con el lavado de telas. Las telas filtrantes deben ser lavadas mediante la inyección de agua a presión a través de las boquillas rociadoras ubicadas en la parte superior de las placas. El agua de lavado cae sobre las compuertas cerradas y utilizando canaletas laterales, el agua es desviada hacia los lados del filtro, evitando de esta manera humedecer la carga recién filtrada.

## CAPÍTULO 3: Análisis de Desempeño y Priorización de Mantenimiento en Filtros Lasta

En este capítulo se analiza el desempeño de los filtros mediante el estudio de sus tiempos fuera de funcionamiento asociados a distintas fallas y actividades de mantenimiento. Este análisis tiene como objetivo identificar patrones recurrentes y causas principales de detenciones. Para ello, se utilizó la base de datos (2023 y 2024) entregada por el área de Confiabilidad, donde se detallan las detenciones de cada filtro especificando el motivo, el componente a intervenir, la duración de la detención y si corresponde a una actividad planificada o no programada.

### 3.1 Justificación del Estudio enfocado en Planta Lasta

Al realizar un análisis preliminar de las horas de detención por mantenimiento correctivo de cada uno de los filtros presentes en la Planta, se consideraron exclusivamente aquellas detenciones no programadas según en el Plan Matriz de la división. Esto permite enfocar el estudio en eventos imprevistos que afectan directamente la continuidad operacional de la Planta. En la Figura 3.1, se presentan los resultados obtenidos mediante un análisis de Pareto.

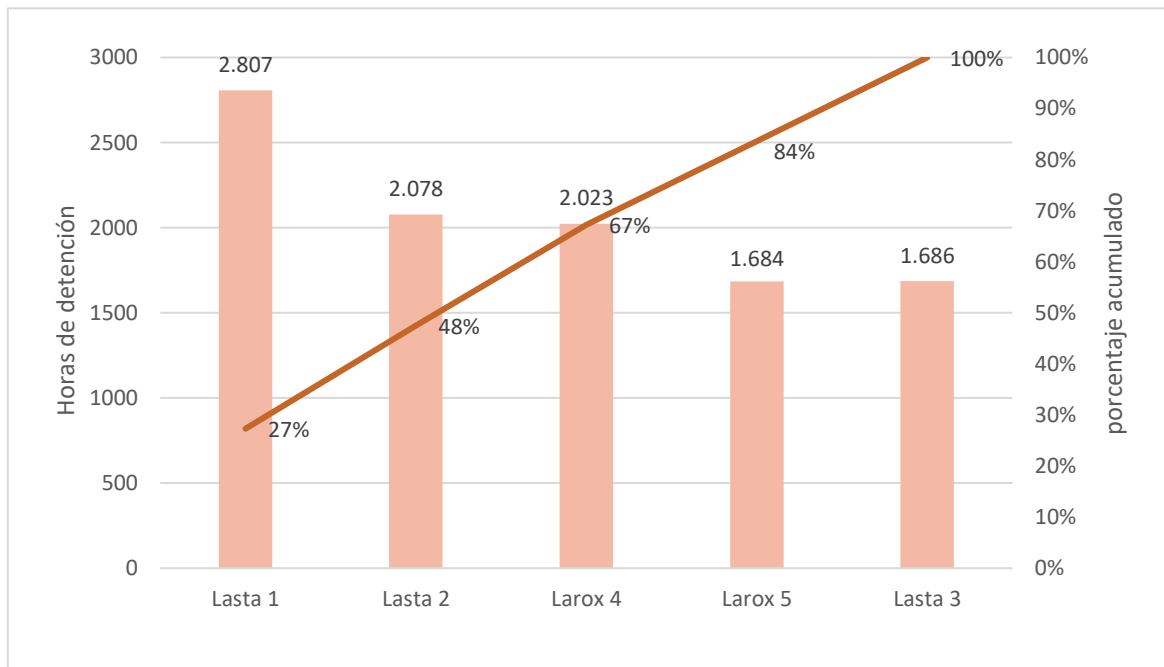
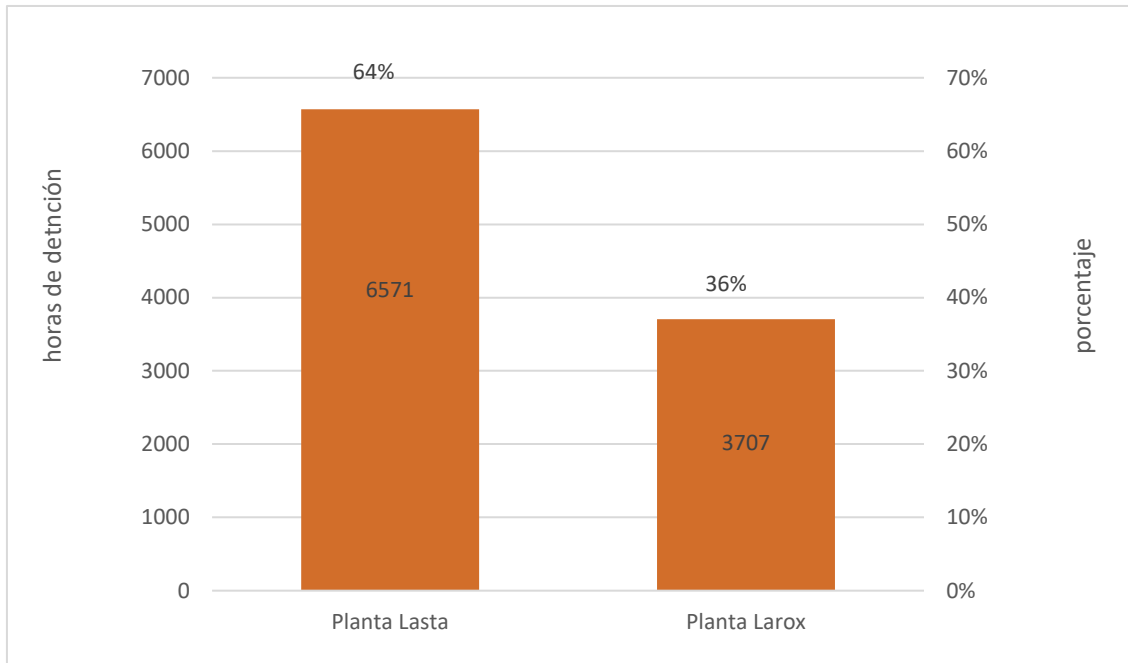


Figura 3.1: Análisis de Pareto de Horas de Detención por Filtro 2024 (Elaboración Propia).

De este gráfico se puede extraer que el filtro Lasta 1 es el mayor contribuyente en términos de horas de detención, con un total de 2807 horas acumuladas en el año 2024, mientras que en segundo lugar se presenta el filtro Lasta 2, que registra 729 horas menos. En cuanto a la distribución acumulada, el gráfico refleja que los tres primeros filtros (Lasta 1, Lasta 2 y Larox 4) acumulan el 67% de las horas de detención totales, destacando como los principales responsables de las paradas no programadas, lo cual en términos de priorización nos indica que estos los filtros clave a intervenir.

De forma complementaria, en la Figura 3.2 se analiza la contribución de las detenciones clasificadas por Planta Lasta y Planta Larox.



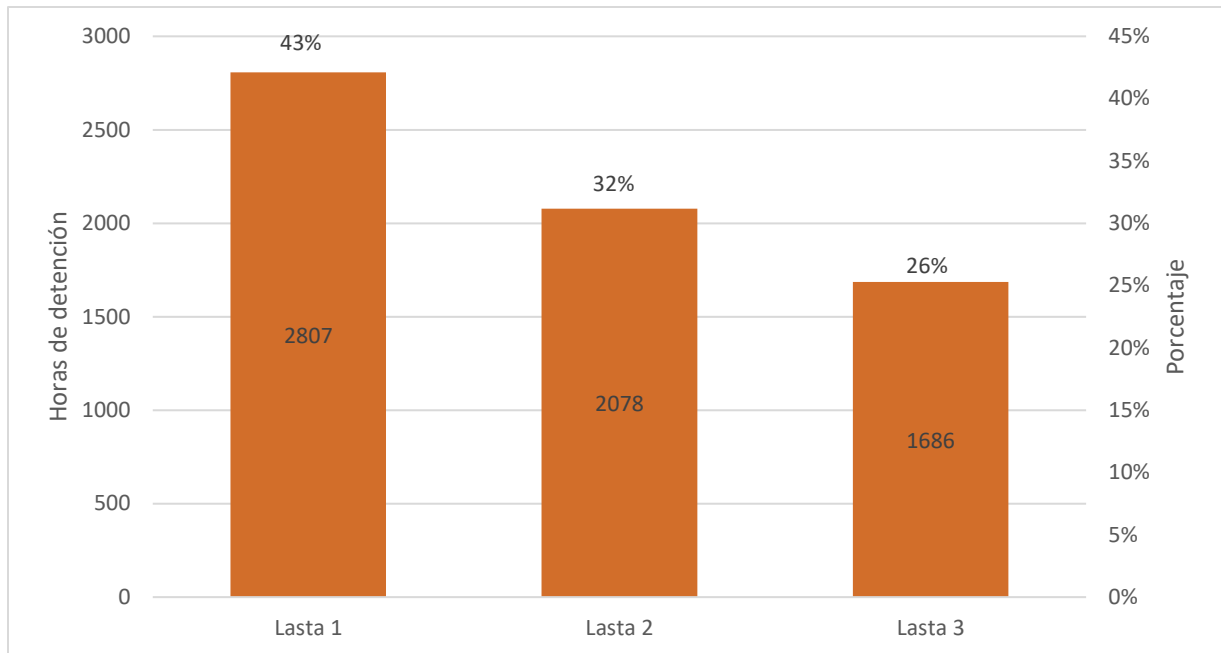
**Figura 3.2: Gráfico de Horas de Detención por Planta 2024 (Elaboración Propia).**

En este gráfico se observa que la planta Lasta acumula un 64% de las horas de detención totales mientras que la planta Larox contribuye con el restante 36%. Este comportamiento refuerza la necesidad de priorizar mejoras en la planta Lasta, donde las detenciones no programadas tienen un impacto significativamente mayor en la operación general.

### 3.2 Análisis de las Horas de Detención de Filtros Lasta

Para profundizar en el desempeño individual de los filtros Lasta, se realizó un análisis de las horas de detención no programadas de cada filtro, destacando su porcentaje de contribución al total de la planta. Este análisis permite identificar cuáles de los filtros presentan mayores niveles de ineficiencia operativa, sirviendo como punto de partida para proponer medidas correctivas específicas.

En la Figura 3.3, se presenta la distribución de las horas de detención por filtro Lasta en el año 2024. Los valores reflejan las actividades no planificadas asociadas a fallas técnicas y actividades debido a mantenimientos correctivos imprevistos; sin contar con los mantenimientos planificados.



**Figura 3.3: Gráfico de Horas de Detención Planta Lasta 2024 (Elaboración Propia).**

De esta figura se puede observar que el Filtro Lasta 1 registra el mayor tiempo de detención, con un total de 2807 horas, lo que representa el 43% de las horas de detención de la planta Lasta en el año 2024. Este resultado lo posiciona como el principal responsable de los tiempos improductivos, lo que sugiere la necesidad de priorizar acciones correctivas en este equipo. El filtro Lasta 2 se posiciona en segundo lugar con un 32% de las detenciones de la planta Lasta.

Por último, el filtro Lasta 3 acumula 1686 horas de detención, representando el 26% restante. Si bien su contribución es menor en comparación con los otros dos filtros, aún tiene un impacto significativo en los tiempos improductivos y, por lo tanto, no debe ser dejado de lado durante el análisis.

En conjunto, los filtros Lasta 1 y Lasta 2 representan el 74% de las horas de detención totales, destacándose como las áreas críticas para intervenir en términos de reducción de tiempos de parada no programados.

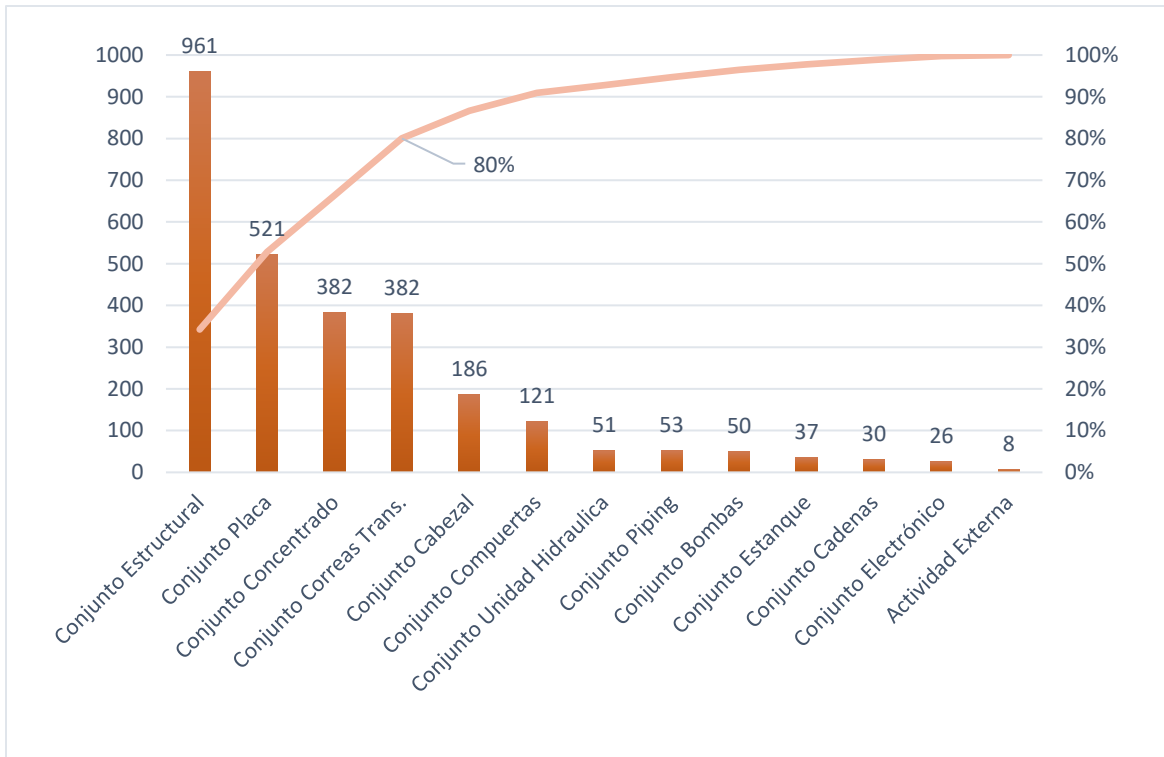
### 3.3 Análisis de Detenciones por Conjuntos de Cada Filtro Lasta

Con el propósito de realizar una evaluación más detallada de los tiempos de detención de cada filtro Lasta y sus causas, se decidió agrupar los componentes del filtro en conjuntos funcionales que cumplen roles específicos dentro del proceso de filtrado. Esta categorización es aplicable a los tres filtros Lasta y permite analizar más eficientemente las áreas críticas de mantenimiento.

1. **Conjunto Bombas:** Abarca las detenciones relacionadas con las bombas de alimentación del sistema y las bombas de lavado de telas y núcleo. Además, incluye todas las válvulas asociadas, tales como válvulas de drenaje, presurizado y soplado.

2. **Conjunto Cabezal:** Se compone de los cabezales del filtro y sus componentes, como los cilindros de bloqueo, cilindros de sellado, ruedas, etc. (Anexo 2).
3. **Conjunto Cadenas:** Se enfoca en las cadenas de separación de placas y de arrastre, las cuales son clave para el manejo y desplazamiento de las placas del filtro. Este conjunto también incluye los candados y otros elementos de sujeción que aseguran la alineación de todo el sistema (Anexo 3).
4. **Conjunto Compuertas:** Está compuesto por las compuertas frontales, traseras y centrales, que garantizan que el cobre fino se mantenga seco durante la etapa de lavado de telas. Adicionalmente, incluye las Guarderas y canaletas utilizadas para drenar el agua generada en esta etapa (Anexo 4).
5. **Conjunto Concentrado:** Abarca las detenciones ocasionadas cuando el concentrado no cumple con las especificaciones necesarias para ser procesado, como un bajo porcentaje de sólidos, un alto contenido de insolubles o una elevada concentración de molibdeno. Estas condiciones afectan directamente la durabilidad de componentes como las telas y las placas, las cuales presentan altos niveles de deterioro cuando se trabaja con alguna de estas condiciones.
6. **Conjunto Correas Transportadoras:** Incluye las correas encargadas de trasladar el cobre procesado hacia la fundición, junto con sus componentes, como polines y buzones de descarga.
7. **Conjunto Eléctrico:** Comprende las detenciones relacionadas con los componentes eléctricos principales, tales como motores, interruptores y cableados.
8. **Conjunto Electrónico:** Se centra en las fallas de los sistemas electrónicos, como sensores, PLC (controladores lógicos programables) y dispositivos de control automatizado.
9. **Conjunto Estructural:** Incluye los elementos físicos de soporte, como vigas, barandas, marcos y portales, además de los rieles necesarios para el movimiento de componentes móviles.
10. **Conjunto Estanque:** Abarca las detenciones relacionadas con el estanque de alimentación, como niveles bajos de concentrado o problemas de control tales como fugas y reboses.
11. **Conjunto Placas:** Comprende las placas, las telas filtrantes y sus soportes, así como empaquetaduras y elementos de sellado. Estos componentes son esenciales para el proceso de filtración, ya que determinan la humedad del producto final.
12. **Conjunto Piping:** Abarca todas las líneas de transporte de fluidos, como las tuberías de alimentación del concentrado, circuitos de soplado de aire, líneas de agua de lavado y drenaje.
13. **Conjunto Unidad Hidráulica:** Está compuesto por aquellos elementos relacionados con la generación y distribución de la presión hidráulica, tales como, bomba hidráulica, válvulas, depósito de aceite, etc.

Teniendo en cuenta esta clasificación, es posible analizar los filtros Lasta iniciando con el más crítico, el Lasta 1. Al representar gráficamente las horas de detención de este filtro, clasificadas según los conjuntos definidos previamente, se obtiene el resultado presentado en la Figura 3.4. Este análisis permitirá identificar y priorizar los componentes que generan mayor impacto en el tiempo de inactividad.



**Figura 3.4: Gráfico de Horas de Detención por Conjuntos del Filtro Lasta 1(Elaboración Propia).**

El conjunto estructural se destaca como el principal contribuyente al tiempo de detención, acumulando un total de 961 horas, lo que podría indicar la necesidad de evaluar la integridad estructural del sistema, considerando que una falla en la estructura puede resultar catastrófica para los equipos, además de tomar un tiempo de reparación de meses debido al tamaño y peso de los componentes.

En segundo lugar, se destaca el conjunto de las placas uno de los principales contribuyentes al tiempo de detención, acumulando un total de 521 horas. Este dato sugiere que las fallas asociadas a componentes como las telas filtrantes, empaquetaduras o las propias placas tienen un impacto crítico en la operación.

En tercer lugar, tanto el conjunto Concentrado como el conjunto de Correas Transportadoras registran un total de 382 horas de detención cada uno. El elevado tiempo de inactividad asociado al conjunto Concentrado sugiere posibles problemas relacionados con la calidad o las características del material filtrado (Alto contenido de insoluble o molibdeno), lo cual podría estar afectando el desempeño del proceso de filtración. En el caso de las Correas Transportadoras, las detenciones se deben principalmente a la falta de disponibilidad y coordinación con el equipo de la Fundición, ya que ambos sistemas de correas (pertenecientes a cada planta) deben operar de manera sincronizada para asegurar la continuidad del flujo de material (Anexo 13).

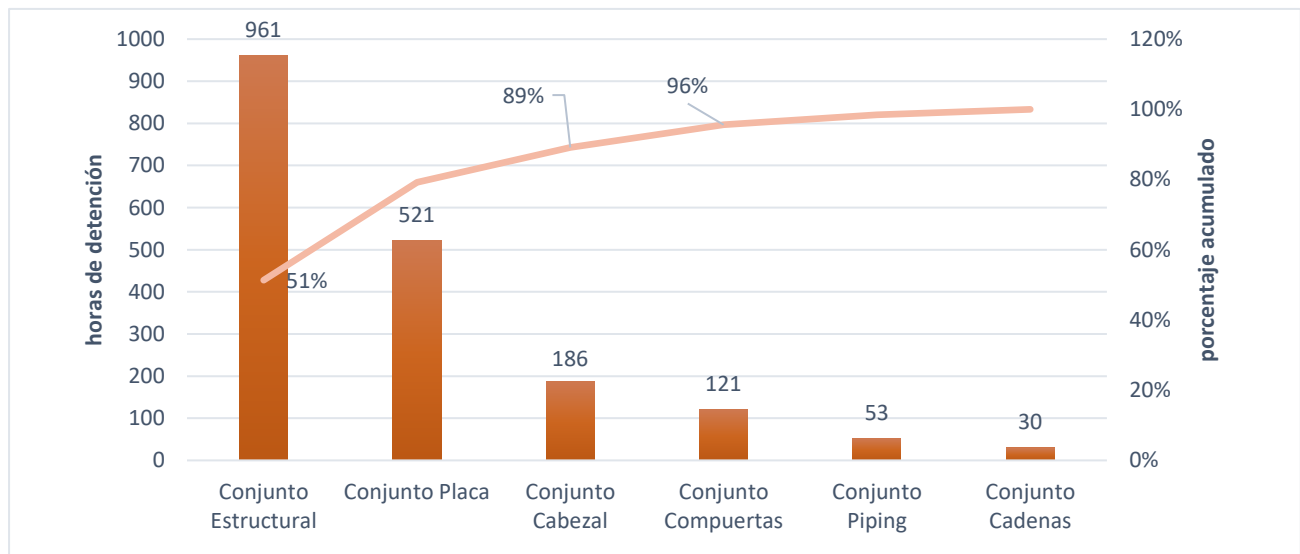
Al observar el porcentaje acumulado, los cuatro conjuntos principales (Estructural, Placas, Concentrado y Correas) representan el 80% de las horas de detención acumuladas. Esto los posiciona como las áreas prioritarias para intervenir en busca de reducir el tiempo improductivo de manera

significativa. Otros conjuntos, como el cabezal (186 horas) y las compuertas (121 horas), aunque tienen un impacto menor, también contribuyen de forma relevante al total de horas de detención.

A medida que se evalúan conjuntos menos críticos, como la unidad hidráulica y las cadenas, se observa una disminución drástica en su impacto, acumulando menos del 5% del tiempo total de detención. Esto permite enfocar los esfuerzos de optimización en las áreas con mayor impacto, al tiempo que se realizan mejoras puntuales en los componentes menores para garantizar un funcionamiento más eficiente.

Aunque todos los conjuntos identificados desempeñan un papel crucial en el funcionamiento global del filtro, este estudio se enfoca específicamente en la mejora de las áreas mecánicas del filtro. Por lo tanto, se considerarán únicamente los conjuntos que pertenecen directamente al filtro como tal. Esto implica que los conjuntos relacionados con sistemas externos, como bombas, concentrado, correas transportadoras, componentes eléctricos, electrónicos y estanques, quedan fuera del alcance de este análisis.

La decisión de limitar el alcance del estudio a los conjuntos mecánicos responde al objetivo de priorizar aquellos componentes que forman parte integral del filtro y que, por tanto, tienen una influencia directa en su rendimiento y en la eficiencia del proceso de filtración. De esta manera, el análisis de Pareto de las Horas de detención por conjunto mecánico para el filtro Lasta 1 se presenta en la Figura 3.5.

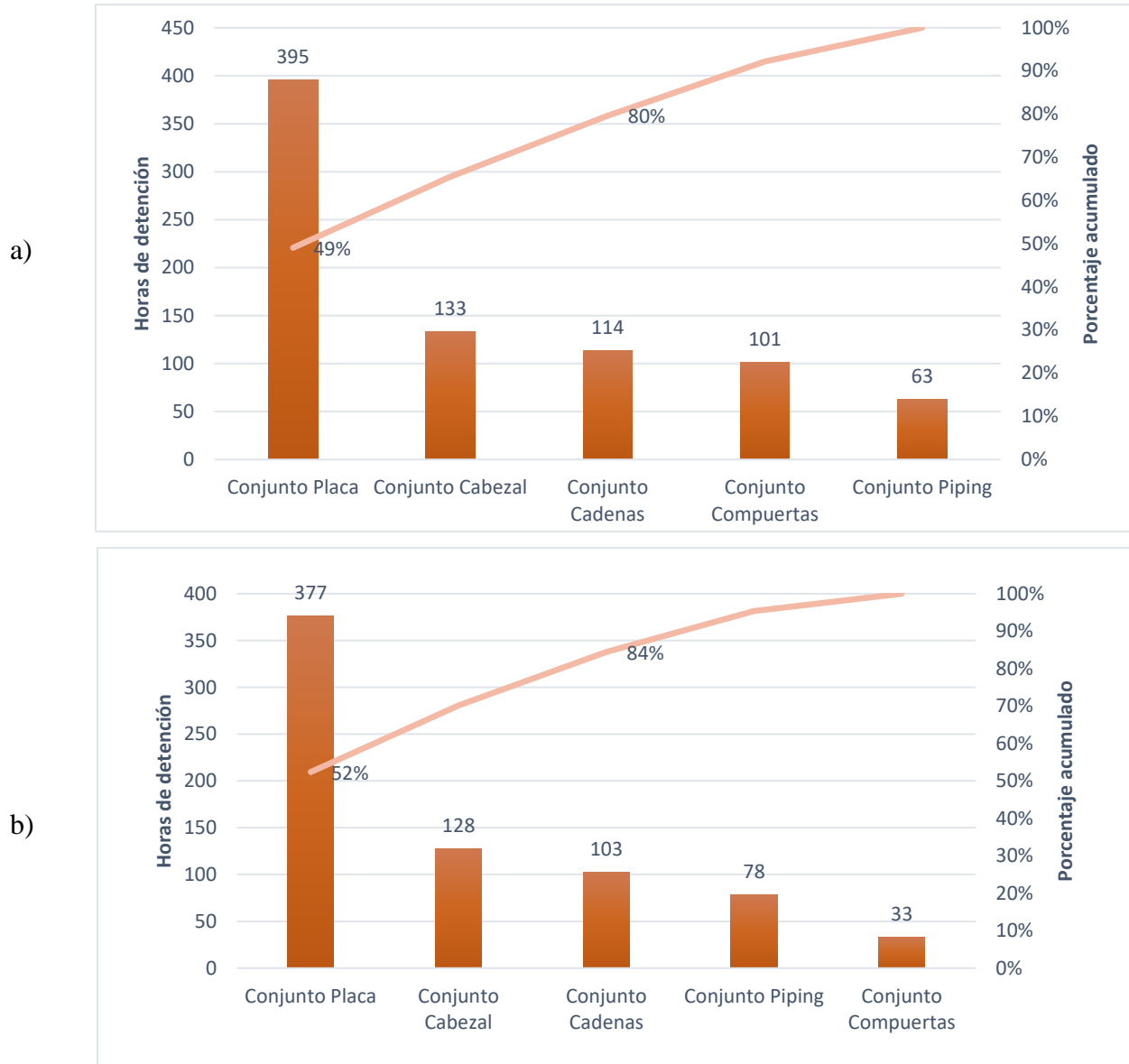


**Figura 3.5: Gráfico de Horas de Detención por Conjunto Mecánico Filtro Lasta 1 (Elaboración Propia).**

El gráfico evidencia la necesidad de priorizar el análisis y las intervenciones en el conjunto estructural, seguido por los conjuntos placa, cabezal y compuertas. Las áreas de menor impacto, como las redes de piping y las cadenas, podrían ser monitoreadas de forma menos intensiva, enfocándose principalmente en acciones preventivas.

Para complementar el análisis presentado anteriormente, se realizó el mismo procedimiento para los Filtros Lasta 2 y Lasta 3, obteniendo los resultados mostrados en la Figura 3.6. En el caso del Filtro

Lasta 2, el análisis de Pareto indica que los conjuntos mecánicos que más contribuyen al tiempo de detención son las placas, con 395 horas, seguidas del cabezal y las cadenas, con 133 y 114 horas respectivamente. Estos tres conjuntos representan en total un 79,6% del tiempo de detención acumulado, destacándose como los puntos prioritarios para intervención en este filtro.



**Figura 3.6: Gráfico de Horas de Detención por Conjunto Mecánico Filtro Lasta 2 y Lasta 3 (Elaboración Propia).**

Para el filtro Lasta 3, se evidencia que el conjunto placa es nuevamente el principal responsable del tiempo de detención, acumulando 377 horas, lo que representa el 49% del total. Este conjunto destaca como el componente crítico en términos de impacto operativo. El conjunto cabezal ocupa el segundo lugar con 128 horas, mientras que el conjunto cadenas alcanza 103 horas, completando así los principales contribuyentes, que acumulan el 84% de las detenciones del filtro Lasta 3.

### 3.4 Conclusión del Análisis de Pareto por Conjuntos

Del análisis de Pareto realizado para los filtros Lasta 1, 2 y 3 considerando exclusivamente los conjuntos mecánicos, se desprende que el conjunto placa es consistentemente el principal contribuyente al tiempo de detención en los tres filtros. Este conjunto representa entre el 40% y el 55% de las horas acumuladas en todos los filtros, consolidándose como el foco principal para intervenciones que busquen mejorar la disponibilidad de los equipos.

Asimismo, los conjuntos cabezal y compuertas varían en relevancia según el filtro analizado, pero juntos completan un porcentaje entre 20%-30% del total de detenciones. Esto refuerza la importancia de priorizar estos componentes para minimizar los tiempos improductivos.

Por otro lado, aunque el conjunto estructural tuvo una gran relevancia para el filtro Lasta 1, esta situación no se repite en los filtros Lasta 2 y Lasta 3. Esto se debe a un importante problema estructural ocurrido durante 2024, el cual mantuvo al filtro detenido por más de un mes. Dado que se considera un evento puntual, no se incluirá en los análisis futuros. Sin embargo, debido a la antigüedad de los equipos, se recomienda realizar un estudio estructural a los tres filtros para prevenir situaciones similares en el futuro.

Utilizando la regla del 80-20 (El 80% de los efectos provienen del 20% de las causas) los conjuntos placa, cabezal y compuertas constituyen los principales responsables del tiempo de inactividad, tal como se indica en la Figura 3.7, donde se aprecia que el porcentaje acumulado de estos tres conjuntos completan un 82% del tiempo de detención total.

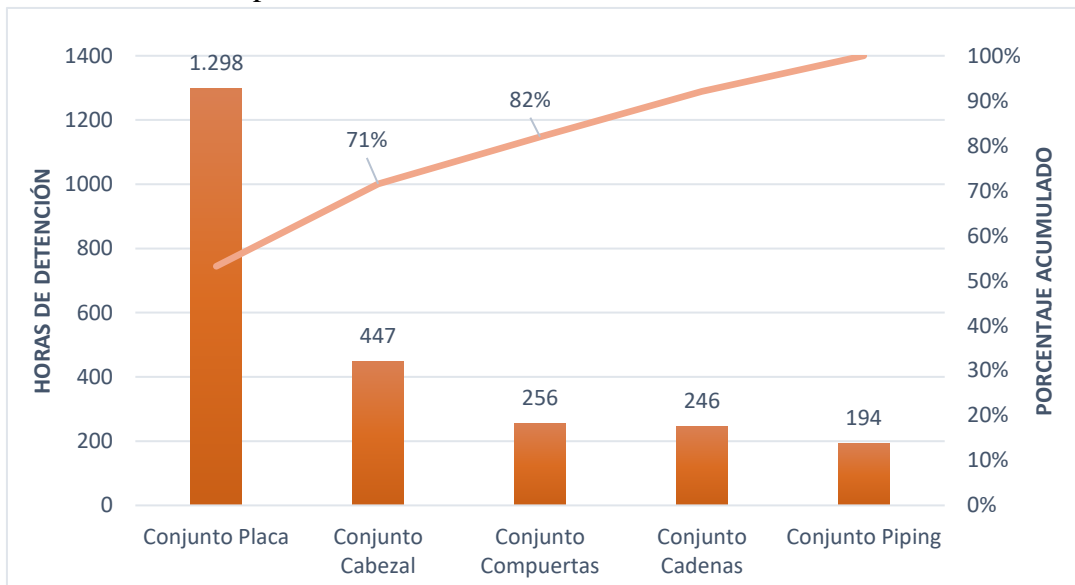


Figura 3.7: Gráfico de Análisis de Pareto para Conjuntos Filtros Lasta (*Elaboración Propia*).

Si bien no se dejará de lado el análisis de los conjuntos cadenas y piping, se entiende que no son prioritarios, pues representan un porcentaje menor en el tiempo acumulado de detenciones y tienen una incidencia menos significativa en la operación.

## **CAPÍTULO 4: Evaluación de Componentes Críticos y Propuesta de Mejora**

En este capítulo se desarrolla un análisis orientado a la optimización de los procesos de filtración de la planta de filtros, mediante la identificación y evaluación de componentes críticos, y la propuesta de implementación de nuevas tecnologías. Inicialmente, se presenta un análisis de criticidad utilizando la metodología Jack Knife, que permite priorizar intervenciones de mantenimiento basadas en la frecuencia de fallas y el tiempo medio de reparación (MTTR). Posteriormente se profundiza mediante un análisis causa-raíz de los componentes identificados como críticos, con el objetivo de comprender las principales fuentes de falla y sus efectos sobre la disponibilidad operativa. Finalmente, se realiza una evaluación técnica de componentes del Filtro Ishigaki recomendados para su implementación, considerando su impacto en la eficiencia de filtrado, fiabilidad, disponibilidad de repuestos y estandarización del sistema de filtración.

### **4.1 Análisis de Jack Knife para identificación componentes críticos**

En este capítulo se emplea la herramienta Jack Knife para realizar un análisis de criticidad de componentes, con el objetivo de identificar aquellos que presentan un mayor impacto en la disponibilidad y eficiencia operativa de los equipos. Esta metodología permite visualizar, comparar y priorizar elementos en función de dos parámetros fundamentales, el número de fallas y el tiempo medio de reparación (MTTR).

El gráfico Jack Knife es una representación gráfica que facilita la toma de decisiones en mantenimiento, al clasificar visualmente los componentes según su comportamiento operativo. En el eje horizontal se representa el número de fallas, mientras que en el eje vertical se encuentra el MTTR. Esta combinación permite ubicar cada componente dentro de uno de los cuatro cuadrantes del gráfico:

- Cuadrante I (alto número de fallas, alto MTTR): Componentes altamente críticos. Su comportamiento afecta directamente la disponibilidad de los equipos y generan altos costos de mantenimiento. Deben ser priorizados para acciones correctivas o rediseños.
- Cuadrante II (bajo número de fallas, alto MTTR): Aunque fallan con menor frecuencia, su reparación requiere tiempos prolongados, lo que implica pérdidas operativas significativas cuando fallan. Es necesario mejorar los tiempos de intervención.
- Cuadrante III (bajo número de fallas, bajo MTTR): Componentes estables y de bajo impacto. Su criticidad es mínima.
- Cuadrante IV (alto número de fallas, bajo MTTR): Si bien fallan con frecuencia, son de fácil y rápida reparación. Su criticidad es intermedia, pero podrían considerarse oportunidades de mejora si los recursos de mantenimiento se ven frecuentemente comprometidos.

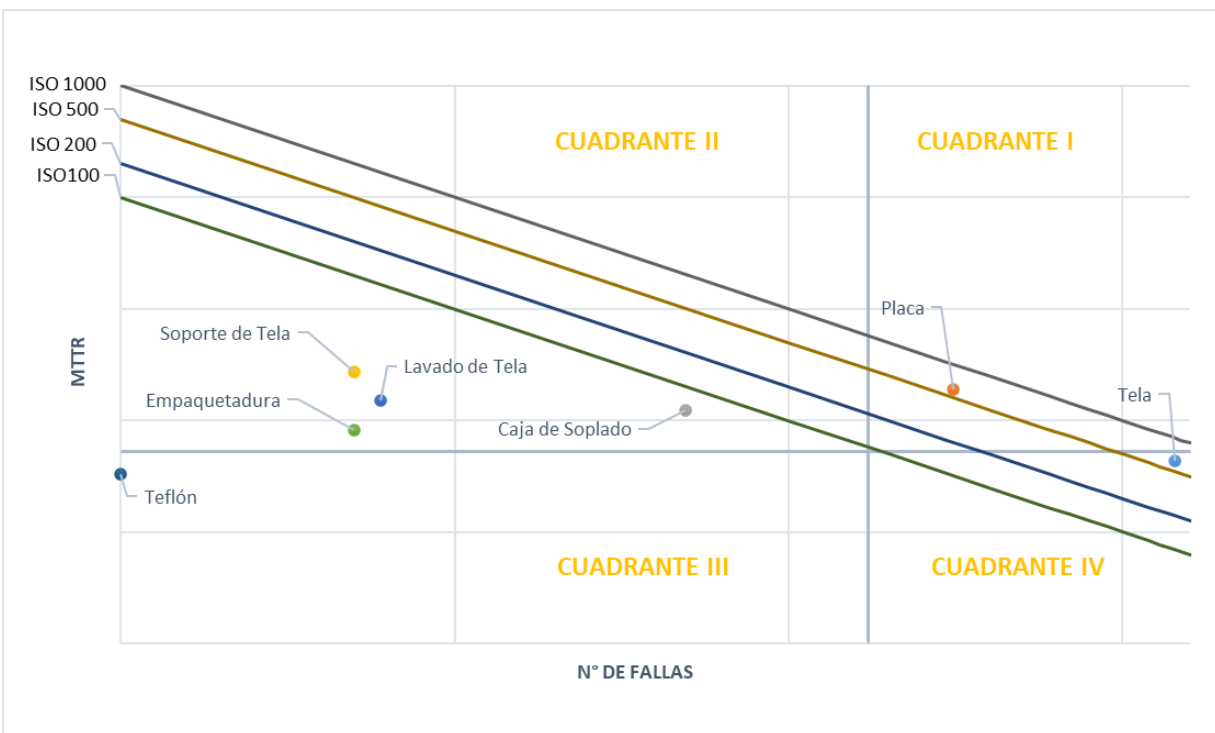
Adicionalmente, el gráfico incorpora líneas de criticidad ISO, que representan curvas de igual impacto en disponibilidad. Estas líneas, identificadas como ISO100, ISO200, ISO500 e ISO1000, agrupan

componentes según su nivel de afectación al sistema. A medida que un componente se ubica más cerca de las líneas superiores (ISO1000, por ejemplo), mayor es su impacto, lo que refuerza su prioridad en la estrategia de mantenimiento.

Este capítulo presenta tres gráficos Jack Knife, cada uno correspondiente a los conjuntos más relevantes identificados en el Capítulo 3, Placa, Cabezal y Compuertas. Para cada conjunto, se analizan sus componentes críticos con base en los tiempos de detención históricos. A partir de esta evaluación, se busca reconocer patrones de falla, establecer prioridades de intervención y sustentar técnicamente la propuesta de mejora en la gestión del mantenimiento.

#### 4.1.1 Conjunto Placa

La Figura 4.1 muestra la distribución de los principales componentes del Conjunto Placa en función del número de fallas registradas y el tiempo de reparación requerido para restablecer su funcionamiento. Este análisis permite priorizar acciones de mejora en aquellos elementos que tienen un mayor impacto en las detenciones operativas.



**Figura 4.1: Análisis de Jack Knife para Conjunto Placa (Elaboración Propia).**

El componente placa se posiciona en el cuadrante I, el cual corresponde a fallas agudas y crónicas, siendo el componente más crítico debido a la combinación de un alto número de fallas y tiempos prolongados de reparación.

Los componentes Soporte de Tela, Lavado de Tela, Empaquetadura y Caja de Soplado se encuentran en el Cuadrante II, por lo que se clasifican como fallas agudas. Estas se caracterizan por tiempos de

reparación prolongados pese a un número moderado de fallas. Esta distribución indica una posible deficiencia en la mantenibilidad de estos componentes.

En el cuadrante III se encuentra el componente teflón, con un número bajo de fallas y tiempos de reparación reducidos. Este componente muestra un adecuado equilibrio entre confiabilidad y mantenibilidad, siendo un ejemplo positivo dentro del conjunto.

El componente Tela se ubica en el cuadrante IV, correspondiente a las fallas crónicas, las cuales se caracterizan por un elevado número de fallas, pero con tiempos de reparación de moderados a bajos. Los componentes ubicados en este cuadrante evidencian un problema de confiabilidad, posiblemente relacionado con el desgaste acelerado y/o fallas repetitivas.

Como recomendaciones, se plantea:

- Cuadrante I: Implementar un análisis causa raíz para el componente placa y considerar mejoras en el diseño.
- Cuadrante II: Revisar procedimientos de mantenimiento, tiempos de llegada de repuestos y capacitación del personal para reducir el MTTR.
- Cuadrante IV: Inspeccionar las telas en busca de posibles mejoras en el material o diseño de componente.

#### 4.1.2 Conjunto Cabezal

El gráfico de la Figura 4.2 presenta cinco componentes del conjunto: Rueda, Cabezal, Cilindro de Sellado, Cilindro de Bloqueo y Cuadrante (Anexo 2). La posición de cada componente respecto a los cuadrantes y a las líneas ISO permite determinar su nivel de criticidad.

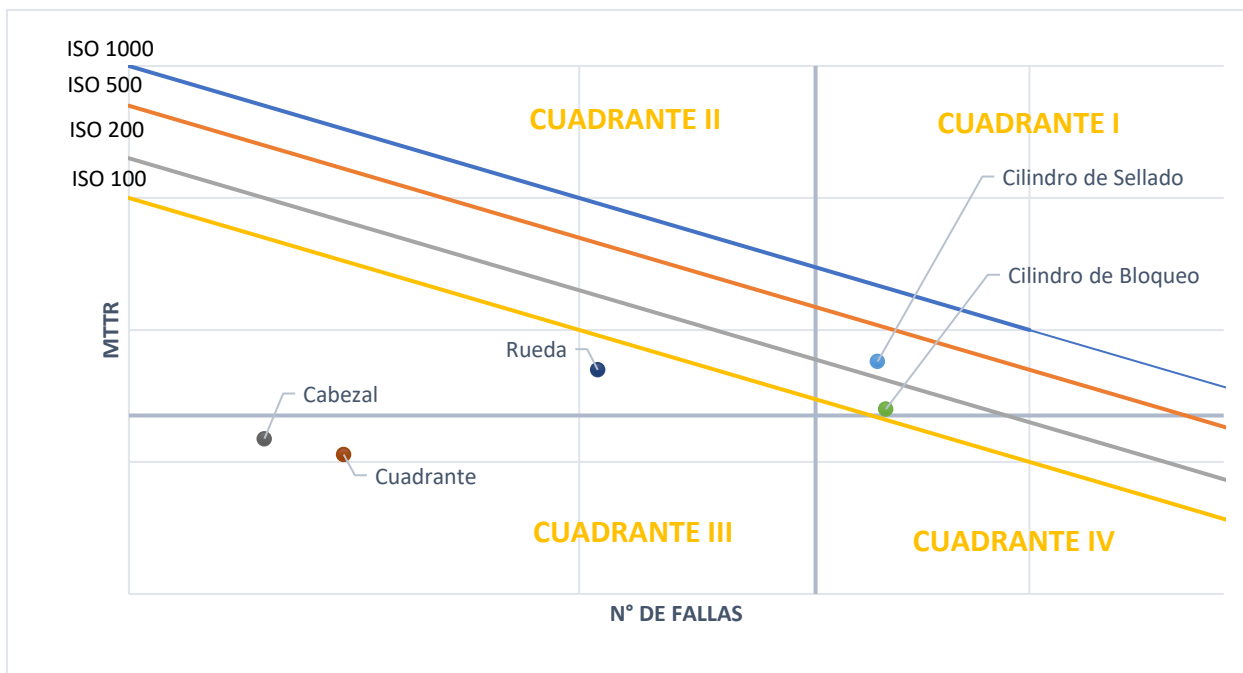


Figura 4.2: Análisis de Jack Knife para Conjunto Cabezal (Elaboración Propia).

Los componentes críticos de este conjunto son los Cilindros de Sellado y los Cilindros de Bloqueo, ambos ubicados en el cuadrante I, correspondiente a fallas agudas y crónicas. Aunque presenten un número similar de fallas, el cilindro de sellado resulta más crítico debido a su mayor MTTR. Esta situación también se evidencia en las curvas ISO, donde el Cilindro de Sellado se posiciona por encima de la línea ISO 200, mientras que el Cilindro de Bloqueo se encuentra sobre la línea ISO 100.

El componente rueda se encuentra en el cuadrante II, lo que evidencia tiempos de reparación prolongados aun cuando el número de fallas es moderado.

No se identifican elementos en el cuadrante IV, lo que refleja una ausencia de componentes con fallas reiteradas (Fallas Crónicas). En el cuadrante III se ubican el cabezal y el cuadrante, lo cual es un indicativo de su buen desempeño, con tiempos de reparación bajos y fallas mínimas.

Recomendaciones en base al análisis:

- Cuadrante I: Es necesario realizar un análisis causa raíz de los cilindros de sellado y de bloqueo, además de considerar acciones preventivas para el futuro.
- Cuadrante II: Buscar oportunidades para optimizar los procesos de mantenimiento y mejorar la disponibilidad de repuestos para las ruedas.

#### 4.1.3 Conjunto Compuertas

El Análisis de Jack Knife para el conjunto compuertas presentado en la Figura 4.3 incluye los componentes Canala de Agua, Compuerta, Gorro chino y Guarderas. La posición de cada componente con respecto a los cuadrantes y a las líneas ISO permite evaluar su nivel de criticidad para luego definir los componentes prioritarios a los cuales aplicar estrategias de mejora.

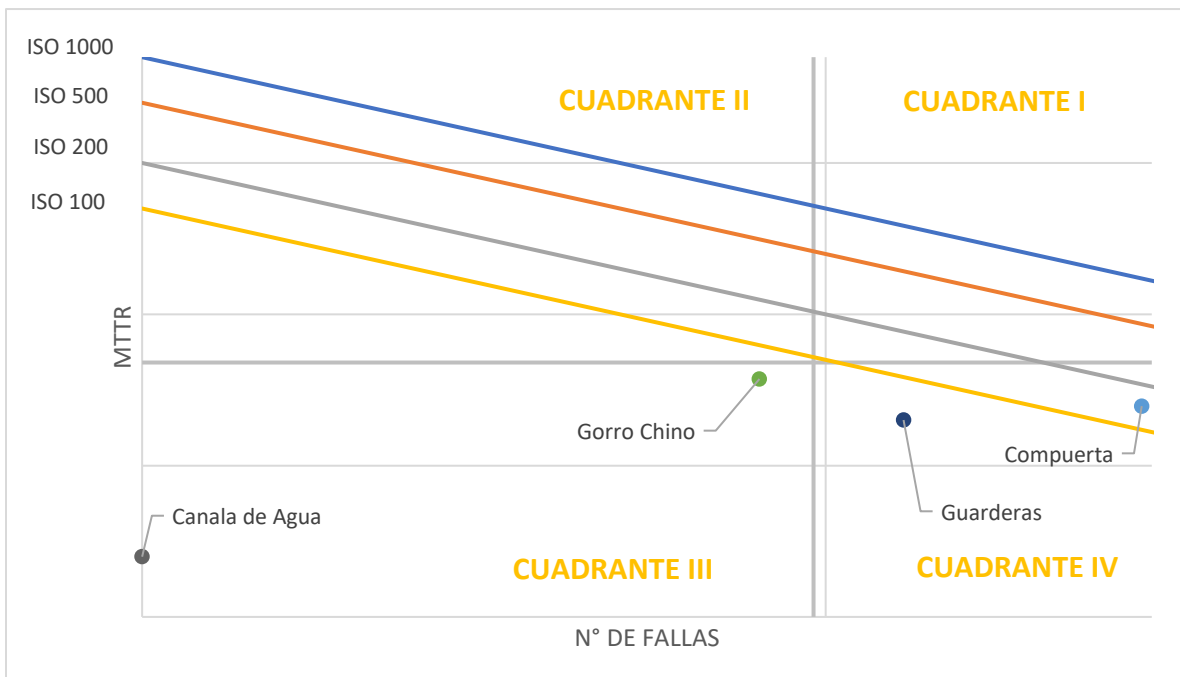


Figura 4.3: Análisis de Jack Knife para Conjunto Compuertas (Elaboración Propia)

Los cuadrantes I y II se encuentran vacíos, lo cual indica que no existen fallas agudas ni agudas y crónicas.

En el cuadrante III se encuentran el Gorro chino y la Canala de agua. Su ubicación en esta zona refleja una condición ideal, ya que combinan un número bajo de fallas con tiempos de reparación reducidos. Sin embargo, el Gorro Chino se ubica muy cercano al cuadrante 1, con lo cual pasaría a ser una falla aguda.

En el cuadrante IV se ubican los componentes críticos del conjunto, las Compuertas y las Guarderas. Ambos presentan tiempos de reparación moderados, sin embargo, las Compuertas destacan por su mayor recurrencia de fallas, convirtiéndose en el elemento más crítico. Esto también se evidencia en su posición respecto a las líneas ISO, donde las compuertas se sitúan por encima de la línea ISO 100, mientras que las Guarderas permanecen por debajo.

Como recomendaciones, se plantea:

- Cuadrante III: Monitorear Gorro chino para evitar que aumente su MTTR.
- Cuadrante IV: Enfocar esfuerzos en la mejora de la confiabilidad de Compuertas y Guarderas.

#### **4.1.4 Conclusión del Análisis de Jack Knife por Conjuntos**

El análisis Jack Knife realizado para los conjuntos Placa, Cabezal y Compuertas permitió identificar los componentes más críticos en función de su frecuencia de fallas y tiempo medio de reparación. Esta metodología es necesaria para priorizar las acciones de mejora y definir estrategias de mantenimiento orientadas a maximizar la disponibilidad operativa y reducir los costos asociados a detenciones no planificadas. A continuación, se presenta un resumen de las recomendaciones realizadas para cada conjunto:

##### **1. Conjunto Placa**

- Priorizar mejoras en el componente Placa para reducir su alta frecuencia de fallas.
- Monitorear las Telas para identificar oportunidades de mejora que permitan prevenir un incremento en su criticidad.
- Mantener estrategias actuales para componente Teflón.

##### **2. Conjunto Cabezal**

- Priorizar mejoras en los Cilindros de Sellado y Bloqueo, investigando las causas de sus fallas frecuentes.
- Optimizar el mantenimiento del componente Rueda para reducir su tiempo medio de reparación.
- Mantener prácticas actuales para Cabezal y Cuadrante, con monitoreo ocasional.

##### **3. Conjunto Compuertas**

- Analizar las fallas del componente Compuerta, con énfasis en cambios de materiales, diseño y procedimientos de mantenimiento.
- Establecer un plan de monitoreo para los componentes moderadamente críticos, como Guarderas y Gorro Chino.
- Mantener las estrategias actuales para las Canales de Agua.

El análisis ha demostrado que la alta frecuencia de fallas en los componentes críticos, más que largos tiempos de reparación, constituye el principal desafío a abordar. Por ello, el estudio continuará centrándose en un análisis causa-raíz de estos componentes. Este enfoque permitirá identificar las razones subyacentes detrás de sus fallas frecuentes, así como proponer soluciones que aumenten la confiabilidad y reduzcan la necesidad de intervenciones recurrentes.

## 4.2 Análisis Causa-Raíz Componentes Críticos

Con el objetivo de fortalecer la confiabilidad operativa de los filtros de prensa y reducir las detenciones no programadas, en esta sección se presenta un análisis causa-raíz detallado de los componentes críticos que han presentado mayor incidencia de fallas durante el año 2024. El estudio se enfoca en los conjuntos Placa, Cabezal y Compuertas, los cuales han sido previamente identificados como prioritarios debido a su impacto en la disponibilidad y eficiencia del sistema de filtración.

Para la elaboración de este análisis se desarrolló un trabajo de recolección, depuración y validación de información técnica y operacional. Se analizaron todas las detenciones no planificadas registradas en los tres filtros Lasta operativos de la planta de filtros durante los años 2023 y 2024, utilizando como fuente principal los registros de mantenimiento entregados por el área de confiabilidad. Estos registros fueron tratados mediante herramientas de análisis en Microsoft Excel, realizando una depuración para eliminar inconsistencias, corregir mantenimientos mal clasificados y completar datos faltantes.

Complementariamente, se utilizó la plataforma SAP PM para acceder a los planes de mantenimiento vigentes, consultar las especificaciones técnicas de los repuestos utilizados en planta y analizar los tiempos de adquisición de materiales críticos. Esta revisión permitió establecer brechas entre la planificación teórica y la ejecución real del mantenimiento.

Durante los seis meses que duró la memoria, se realizaron visitas diarias a la planta, lo que permitió una observación directa de los equipos en operación, el seguimiento de mantenimientos relevantes, el registro fotográfico de componentes críticos y el levantamiento de información técnica en terreno, incluyendo verificación de dimensiones y estados físicos de los componentes.

Para validar los hallazgos técnicos y comprender las condiciones reales de operación, se realizaron entrevistas semiestructuradas a un total de 35 personas, desglosadas en los siguientes roles:

- 21 Operadores de la Planta de Filtros.
- 4 Jefes de turno de operaciones.
- 2 Jefes de turno de ejecución de mantenimiento.
- 5 Integrantes del equipo de planificación.
- 3 Integrantes del equipo de confiabilidad.

Asimismo, se sostuvo contacto técnico con distintos proveedores clave y empresas contratistas involucradas en la operación y mantenimiento de los filtros:

- GKD: Proveedor de telas filtrantes.
- JVK: Proveedor de placas filtrantes.
- Micronics: Representantes de los filtros Ishigaki en América.
- Pocuno: Proveedor de empaquetaduras de núcleo.
- TTM: Contrato de reparación de cilindros de sellado y bloqueo.
- Salfa Mantenciones: Ejecutores de mantenimiento mecánico en planta.

El análisis se estructuró mediante el uso combinado de herramientas como los diagramas de Ishikawa (causa-efecto) y los gráficos de criticidad tipo Jack Knife, permitiendo una identificación de las causas técnicas, operacionales y organizacionales que han influido en el aumento de fallas. Además, se elaboraron tablas de validación de causas, considerando evidencia empírica y testimonios del personal involucrado.

A continuación, se detallan los resultados del análisis causa-raíz para cada conjunto, sustentados por registros históricos, gráficos comparativos, diagramas de causa y efecto, y conclusiones validadas con personal operativo y técnico de la planta.

#### 4.2.1 Conjunto Placa: Componente Placa

En la Figura 4.4 se presenta la cantidad de detenciones por reparación de placas realizadas mes a mes durante los años 2023 y 2024 (Anexo 6). Este gráfico permite visualizar cómo han evolucionado las fallas en las placas a lo largo del tiempo.

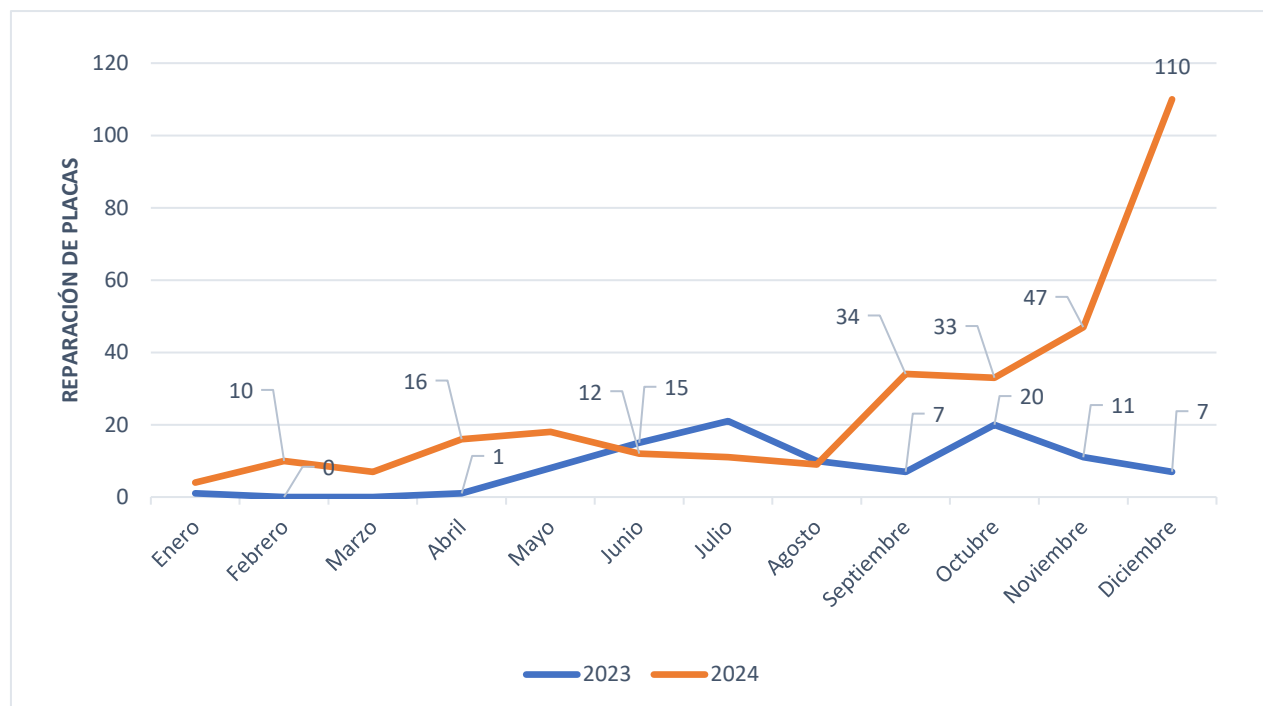
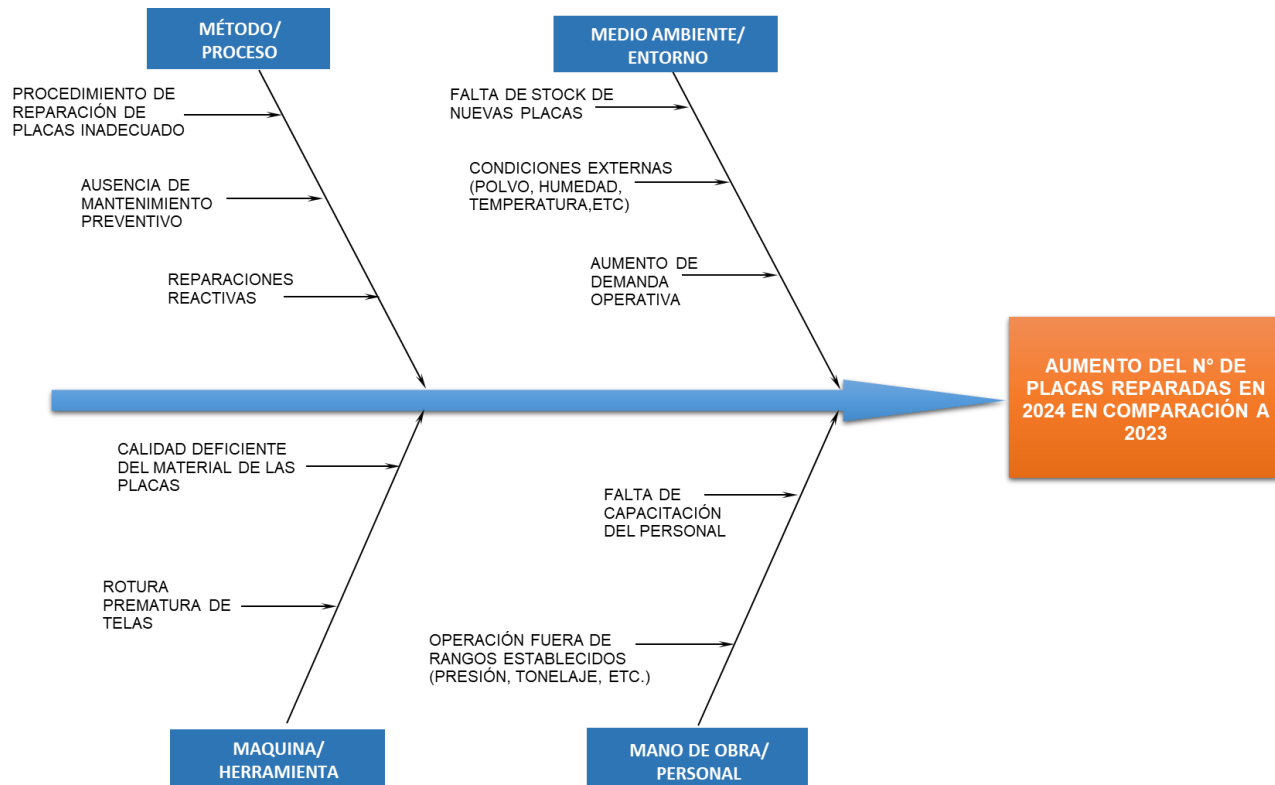


Figura 4.4: Cantidad de Reparación de Placas 2023 vs 2024 (*Elaboración Propia*).

Los datos reflejan un aumento progresivo en el número de reparaciones durante los primeros meses del año 2024, alcanzando picos significativos en los meses de septiembre y octubre, para finalmente dispararse en los meses de noviembre y diciembre. En cambio, durante el año 2023 la cantidad de reparaciones se mantuvo relativamente estable, con un rango de entre 0 y 20 reparaciones por mes.

Con el propósito de comprender las causas que producen el aumento en las fallas que presentan las placas en el año 2024 en comparación con el 2023, se llevará a cabo un análisis causa raíz utilizando el diagrama de Ishikawa, presentado en la Figura 4.5.



**Figura 4.5: ACR Diagrama de Ishikawa Componente Placa (Elaboración Propia).**

El diagrama de Ishikawa presentado detalla las posibles causas del incremento en el número de detenciones debido a reparación de placas. Las categorías analizadas son:

#### 1. Método/ Proceso:

- Procedimiento de reparación de placas inadecuado: Es posible que los procedimientos utilizados para reparar las placas dañadas no sean lo suficientemente claros o no especifican el momento óptimo para el cambio, lo que puede llevar a un desgaste prematuro o a un uso excesivo.
- Ausencia de mantenimiento preventivo: Si no existe un plan de mantenimiento preventivo o se encuentra incompleto, es probable que las placas se utilicen por más tiempo que el indicado por su vida útil.
- Reparaciones reactivas: Si se opta por realizar reparaciones reactivas solo se logrará atender placas rotas, en lugar de realizar intervenciones planificadas, esto puede incrementar las detenciones no programadas y contribuir al deterioro de otros componentes o de placas conjuntas.

#### 2. Medio Ambiente/ Entorno:

- Condiciones Externas: Factores como el polvo, la humedad, o las altas temperaturas podrían estar acelerando el desgaste de las placas.
- Aumento de demanda operativa: Un incremento en los niveles de producción podría estar llevando a las placas a operar más allá de su capacidad de diseño.

- Falta de stock de nuevas placas: Si no existe un stock que cubra las necesidades de la planta se limitan las posibilidades de reemplazar placas dañadas por nuevas, obligando a reutilizar placas reparadas.
3. Máquina/ Herramienta:
- Calidad del material de las placas: Las placas utilizadas durante el año 2024 podrían ser de menor calidad o presentar fallas en su composición, lo que provoca un desgaste más rápido. Es importante evaluar si hubo un cambio de proveedor o un cambio en las especificaciones técnicas de las placas.
  - Rotura prematura de telas: Si durante la operación del filtro las telas se dañan de forma prematura, el concentrado impactará directamente sobre las placas, causando erosión en su superficie.
4. Mano de Obra/ Personal:
- Falta de capacitación del personal: Si los operadores no están adecuadamente capacitados en el procedimiento de cambio y reparación de placas, podrían cometer errores que incrementen el desgaste.
  - Operación fuera de rangos establecidos: Si existen cambios en la presión, la velocidad, o el flujo fuera de los rangos de operación normales, esto podría generar un desgaste adicional.

## Validación de Causas

### 1. Método/Proceso

Causa 1: Procedimiento de reparación de placas inadecuado: Actualmente existe un instructivo (INS008 Reparación de placas filtros Lasta. Anexo 7) que especifica el procedimiento que debe seguir el operador para reparar correctamente las placas. Además, todo el personal está debidamente capacitado en dicho instructivo, con un 100% de aprobación en las pruebas de entendimiento.

Sin embargo, en el manual original del filtro no se menciona la reparación de placas, lo que sugiere que esta práctica fue adoptada en la planta como una solución operativa ante la falta de stock de placas nuevas y la necesidad de mantener la continuidad en la producción [8].

Causa 2: Ausencia de mantenimiento preventivo: La falta de un plan de mantenimiento para placas, sumada a la ejecución de reparaciones únicamente reactivas, implica que las placas están siendo operadas más allá de su vida útil, lo que incrementa fallos y afecta a otros componentes del filtro.

Causa 3: Reparaciones reactivas: Al no planificar las reparaciones, las placas dañadas continúan operando hasta que fallan por completo, lo que genera detenciones inesperadas. Además, la reutilización de placas reparadas más de una vez (que fallan más rápido y generan daños en otros componentes) solo agrava el problema.

### 2. Medio Ambiente/Entorno

Causa 1: Condiciones externas: Aun cuando el entorno puede ser severo (Temperaturas extremas, polvo), este no ha sufrido grandes cambios desde 2023 a 2024, por lo que no es un factor que explique el aumento de fallas en placas.

Causa 2: Aumento de la demanda operativa: El aumento en la producción desde 2023 genera que se sobrecarguen los filtros y, por ende, las placas. Esto se evidencia en el uso frecuente de presiones mayores a las recomendadas y a la sobrecarga de tonelaje para maximizar la producción. Además, la alta demanda operativa ha ocasionado la postergación de mantenimientos programados, lo que contribuye al deterioro progresivo de los componentes.

Causa 3: Falta de stock de nuevas placas: El sistema de planificación no es suficiente para cubrir las necesidades de la planta, lo que obliga a reutilizar placas reparadas, las cuales se caracterizan por fallar más rápido y causar daños adicionales al filtro.

### 3. Máquina/Herramienta

Causa 1: Calidad deficiente del material de las placas: El proveedor y las especificaciones técnicas de las placas no han cambiado, por lo que no se puede atribuir el aumento en los fallos a una menor calidad del material.

Causa 2: Rotura prematura de telas: Se ha identificado una correlación entre el aumento en los fallos de las telas y el incremento en los fallos de las placas. Esto sugiere que, cuando las telas fallan prematuramente, el concentrado impacta directamente sobre las placas, provocando su erosión acelerada.

### 4. Mano de Obra/Personal

Causa 1: Falta de capacitación del personal: El personal encargado de la reparación de placas se encuentra debidamente capacitado en sus funciones. Además, todos han completado satisfactoriamente la formación correspondiente al INS008 Reparación de placas filtros Lasta.

Causa 2: Operación fuera de rangos establecidos: Operar los filtros con presiones mayores a las recomendadas y sobrecargar el tonelaje afecta directamente la vida útil de las placas, incrementa el desgaste y contribuye a la degradación acelerada de componentes.

En la Tabla 4.1 se presenta una síntesis de los resultados del análisis causa raíz realizado para identificar los factores asociados al aumento en las reparaciones de placas durante el año 2024, en comparación con el año anterior. Este resumen refleja las causas vistas en el Diagrama de Ishikawa, indicando cuales son válidas según el caso estudiado.

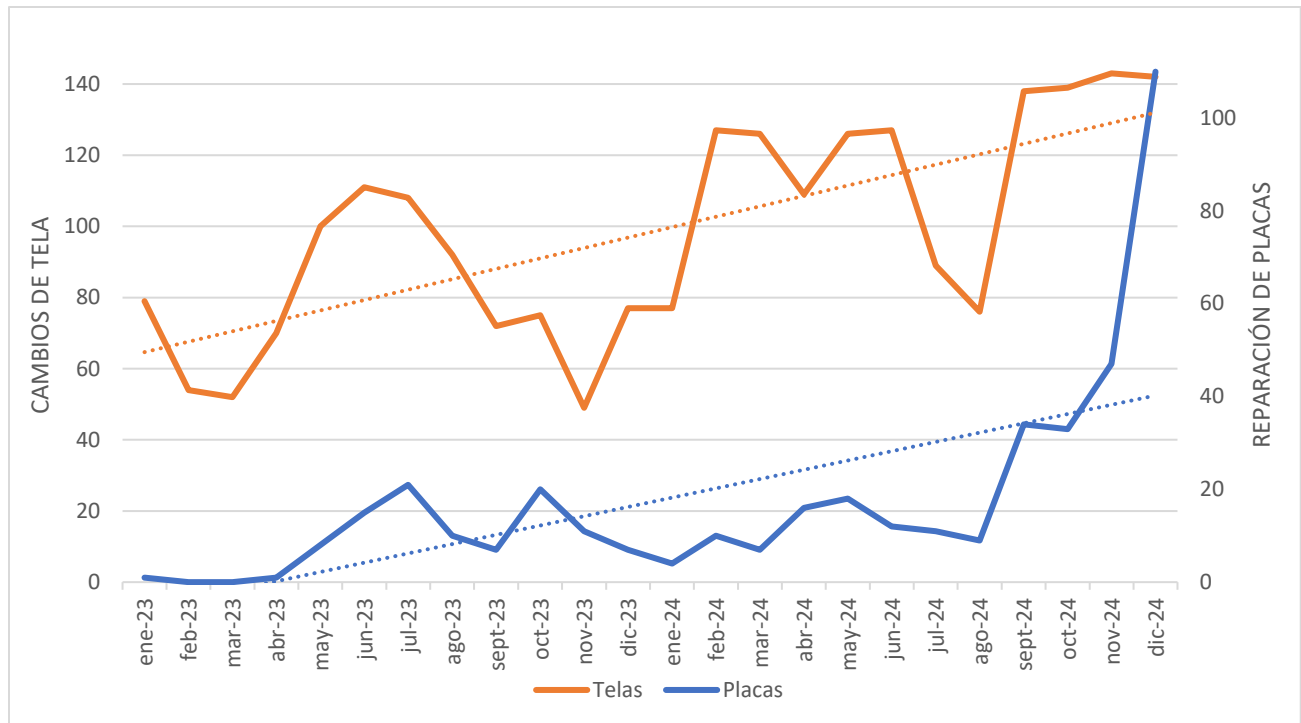
**Tabla 4.1: Resumen Validación de Causas para el Aumento del Número de Placas reparadas en 2024 en comparación con 2023 (Elaboración Propia).**

Categoría	Causa	Validación
Método/ Proceso	Procedimiento de reparación de placas inadecuado	Descartada
	Ausencia de mantenimiento preventivo	Confirmada
	Reparaciones reactivas	Confirmada
Medio Ambiente /Entorno	Condiciones Externas	Descartada
	Aumento de la Demanda Operativa	Confirmada
	Falta de stock de nuevas placas	Confirmada
Máquina/Herramienta	Calidad deficiente del material de las placas	Descartada
	Rotura prematura de Telas	Confirmada
Mano de Obra/Personal	Falta de Capacitación del personal	Descartada
	Operación fuera de rangos establecidos	Confirmada

El análisis permitió identificar las causas clave detrás del aumento en las reparaciones de placas durante 2024. Las principales razones confirmadas incluyen la falta de un programa de mantenimiento preventivo, un enfoque predominantemente reactivo para las reparaciones, el incremento en la demanda de producción y la reutilización de placas reparadas debido a un stock insuficiente de repuestos nuevos. Cabe destacar que el fabricante en ningún momento sugiere la reparación de placas, por lo que corresponde a una práctica fuera de estándar.

Asimismo, se destacaron condiciones operativas que agravan el desgaste de las placas, tales como la rotura prematura de telas y el uso del filtro en condiciones fuera de los rangos recomendados de presión y tonelaje. Estas prácticas además de acelerar el deterioro de las placas contribuyen a la degradación de otros componentes, incrementando los tiempos de detención y los costos operativos.

Dado que la rotura prematura de telas ha sido identificada como una de las principales causas que afectan la integridad de las placas, es necesario profundizar en su análisis. Para ello, la Figura 4.6 compara mes a mes las reparaciones de placas y los cambios de telas durante los años 2023 y 2024, permitiendo visualizar con mayor claridad la posible correlación entre ambos componentes.



**Figura 4.6: Relación entre reparaciones de placas y cambio de telas (*Elaboración Propia*).**

Se observa que ambas variables presentan una tendencia creciente a lo largo del periodo analizado (2023-2024), lo cual indica que la criticidad de los componentes ha ido en aumento a lo largo del tiempo.

También se puede apreciar que los picos alcanzados en las reparaciones de placas (Línea azul) tienden a coincidir con aumentos en los cambios de telas (Línea naranja), lo cual sugiere una relación directa entre ambos fenómenos. Esta correlación se hace particularmente evidente durante los últimos meses de 2024, donde ambas curvas experimentan un aumento considerable y simultáneo, alcanzando sus valores máximos en diciembre.

El gráfico respalda la hipótesis de que la rotura prematura de telas contribuye al aumento en las fallas de las placas, validando la necesidad de profundizar en el análisis causa raíz del componente tela.

#### 4.2.2 Conjunto Placa: Componente Tela

En la Figura 4.7 se observa la cantidad mensual de telas utilizadas en los años 2023 y 2024. La comparación evidencia un aumento considerable en el uso de telas durante el año 2024, especialmente en los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre, donde el consumo se duplica en relación con el mismo periodo del año anterior.

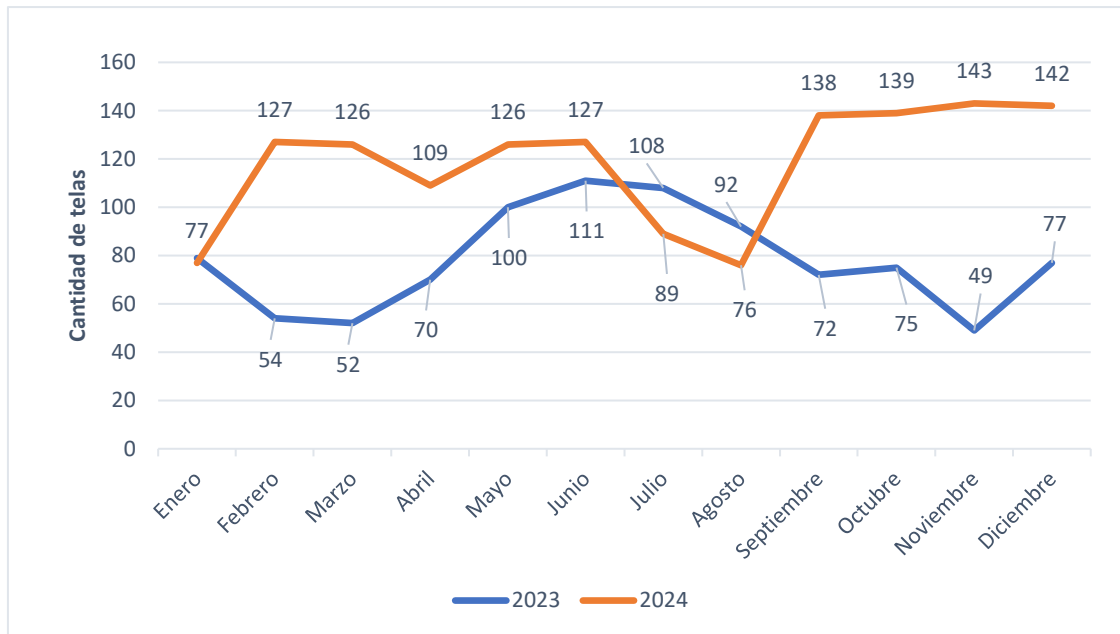
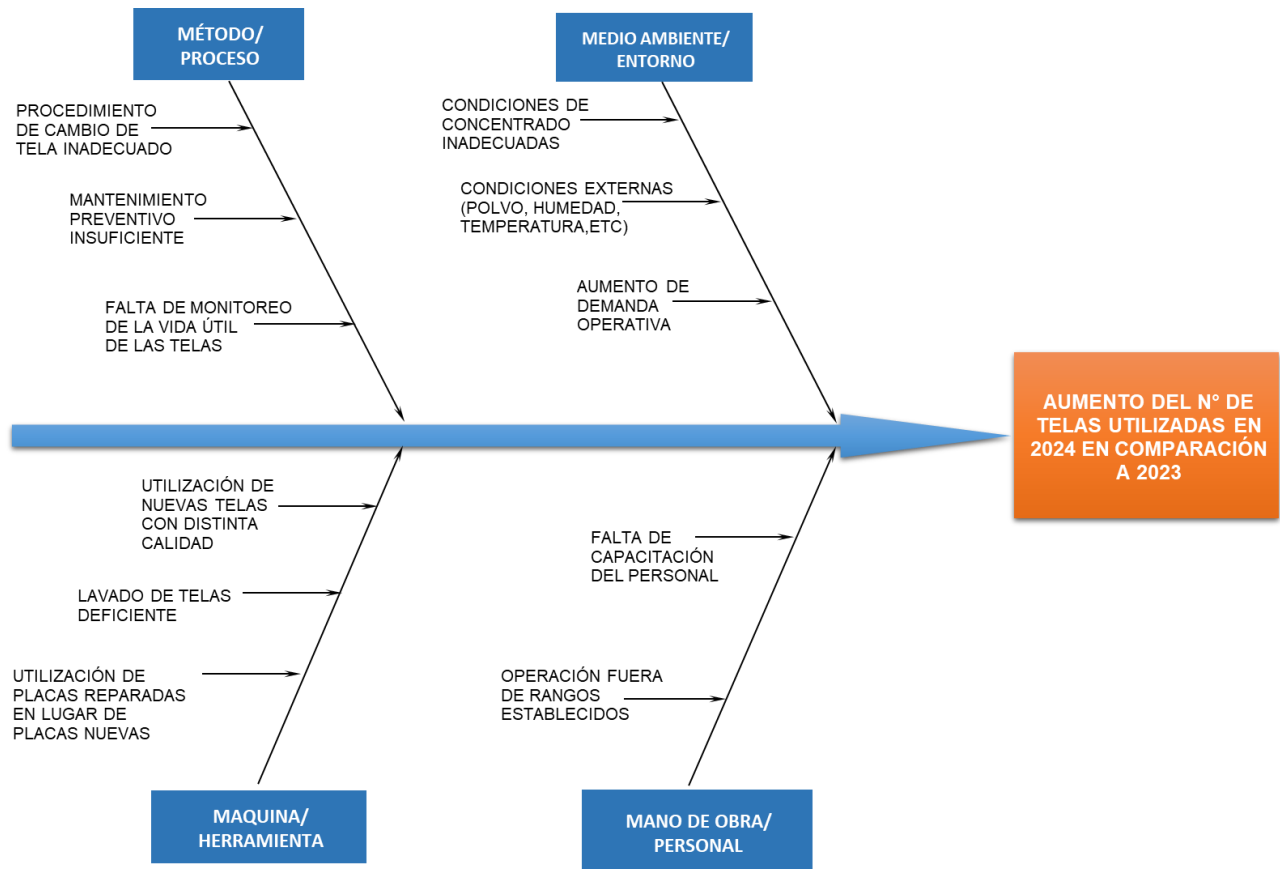


Figura 4.7: Cantidad de Cambios de Tela 2023 vs 2024 (Elaboración Propia).

Mientras que en 2023 el consumo mensual se mantuvo relativamente estable, con un rango de 52 a 111 unidades, en 2024 se aprecia una tendencia al alza, alcanzando picos de 143 y 142 en noviembre y diciembre, respectivamente. Este comportamiento sugiere un posible problema operativo relacionado con el aumento de fallas o desgaste prematuro de las telas.

Para abordar el problema del aumento en el uso de telas durante 2024 en comparación con 2023, se realizó un análisis causa-raíz utilizando un diagrama de Ishikawa. Este enfoque permitió identificar y clasificar las causas potenciales detrás de este fenómeno, agrupándolas en cuatro categorías principales: método/proceso, medio ambiente/entorno, máquina/herramienta y mano de obra/personal. Este análisis, presentado en la Figura 4.8, busca detallar los factores que contribuyen al problema, facilitando la identificación de acciones correctivas.



**Figura 4.8: ACR Diagrama de Ishikawa Componente Tela (Elaboración Propia).**

El diagrama de Ishikawa presentado detalla las posibles causas del incremento en el número de telas utilizadas. Las categorías analizadas son:

1. Método/ Proceso:

- Procedimiento de cambio de tela inadecuado: Es posible que los procedimientos utilizados para el cambio de tela no sean lo suficientemente claros o no especifican el momento óptimo para el cambio, lo que puede llevar a un desgaste prematuro o a un uso excesivo.
- Mantenimiento preventivo insuficiente: Si no existe un plan de mantenimiento preventivo o se encuentra incompleto, es probable que las telas se utilicen por más tiempo que el indicado por su vida útil.
- Monitoreo de vida útil de las telas: Es posible que no se esté tomando en cuenta la vida útil de las telas y/o que no exista un registro de su duración.

2. Medio Ambiente/ Entorno:

- Condiciones de concentrado inadecuadas: El concentrado utilizado puede presentar variaciones en sus propiedades físicas o químicas, tales como, porcentaje de sólido fuera de rango, mayor contenido de insolubles, contenido de molibdeno, etc. Esto puede deberse a problemas en las etapas previas del proceso.
- Condiciones Externas: Factores como el polvo, la humedad, o las altas temperaturas podrían estar acelerando el desgaste de las telas.

- Aumento de demanda operativa: Un incremento en los niveles de producción podría estar llevando a las telas a operar más allá de su capacidad diseñada, reduciendo su vida útil.
3. Máquina/ Herramienta:
- Utilización de Nuevas Telas con distinta calidad: Las telas utilizadas durante el año 2024 podrían ser de menor calidad o presentar fallas en su composición, lo que provoca un desgaste más rápido. Es importante evaluar si hubo un cambio de proveedor o un cambio en las especificaciones técnicas de las telas, tal como, espesor, resistencia, composición, etc.
  - Lavado de Telas Deficiente: Un lavado inadecuado de las telas podría dejar residuos de concentrado en los bordes, lo que con el tiempo podría acumularse y dañar las telas durante la operación, especialmente cuando el filtro se sella, debido a las grandes presiones de operación.
  - Utilización de Placas reparadas en lugar de Nuevas: Si los componentes que interactúan directamente con las telas no reciben el mantenimiento adecuado, o no se respeta su vida útil, podrían generar desgaste adicional. Las placas en particular no deben presentar superficies ásperas, ya que están en contacto directo con la tela durante todo el proceso de filtrado.
4. Mano de Obra/ Personal:
- Falta de capacitación del personal: Si los operadores no están adecuadamente capacitados en el manejo y cambio de telas, podrían cometer errores que incrementen el desgaste.
  - Operación fuera de rangos establecidos: Si existen cambios en la presión, la velocidad, o el flujo fuera de los rangos de operación normales, esto podría generar un desgaste adicional a las telas.

## **Validación de Causas**

### 1. Método/Proceso

Causa 1: Procedimiento de cambio de tela inadecuado. Se descarta esta causa debido a que existe un Instructivo documentado (INS004 Cambio de Telas y Empaquetaduras Filtros Lasta. Anexo 8) que especifica el paso a paso que debe seguir el Operador para realizar un correcto cambio de Tela. Además, todo el personal está debidamente capacitado en dicho instructivo, con un 100% de aprobación en las pruebas de entendimiento.

Causa 2: Mantenimiento preventivo insuficiente. Al no existir un mantenimiento preventivo formal para las telas y placas, se confirma esta causa. Actualmente solo se realizan inspecciones visuales y sonoras, sin un control riguroso del estado de los componentes.

Causa 3: Monitoreo de vida útil de las telas. La planta no cuenta con sistema para registrar la vida útil real de las telas, por lo que no hay un control que permita identificar si están cumpliendo con la vida útil indicada por el fabricante o cuanto tiempo están durando en comparación con periodos anteriores.

## 2. Medio Ambiente/Entorno

Causa 1: Condiciones de concentrado inadecuadas. Se realizan mediciones de concentrado cada una hora (Porcentaje de sólidos, insolubles, etc.), y se ha comprobado que estos valores pueden variar rápidamente, por lo que en ocasiones se encuentran fuera de los rangos óptimos. Sin embargo, la Planta de Filtros no tiene control sobre estas condiciones, ya que dependen del proceso anterior (planta de Molibdeno).

Causa 2: Condiciones Externas (Polvo, temperatura, Humedad). Si bien estas condiciones podrían tener cierto impacto en la duración de las telas, se descarta debido a que estas han sido consistentes con años anteriores.

Causa 3: Incremento de la Demanda Operativa. El aumento constante en la demanda operativa se valida como un factor relevante que influye directamente en el consumo de telas, debido a que este aumento ha llevado a que las telas operen con mayor frecuencia y bajo condiciones más exigentes.

## 3. Máquina/Herramienta

Causa 1: Utilización de nuevas telas con distinta calidad. Se descarta esta causa, ya que las telas utilizadas durante el año 2024 son las mismas utilizadas anteriormente, sin cambios en proveedor ni especificaciones técnicas.

Causa 2: Lavado de Telas Deficiente: Aunque no existen reportes formales, el lavado insuficiente de telas se identifica como un problema recurrente en los filtros. Esto indica que, al finalizar cada ciclo, no se elimina completamente el concentrado residual, lo que provoca acumulaciones progresivas en los bordes de las placas. Estas acumulaciones generan que el filtro no selle correctamente, lo que puede resultar en la expulsión del material hacia el exterior de las cámaras durante la inyección de carga. Además, esta situación contribuye al desgaste localizado en las telas y placas debido a las altas presiones aplicadas durante el proceso operativo (Anexo 9).

Causa 3: Utilización de Placas Reparadas: Se ha determinado que el uso recurrente de placas reparadas, en vez de placas nuevas, afecta directamente la vida útil de las telas. El desgaste acumulado en las placas genera superficies ásperas que, al entrar en contacto con las telas, aceleran su deterioro. Esta situación se ve agravada por la falta de stock de placas nuevas, lo que ha hecho habitual la reparación de placas, incluso en múltiples ocasiones. Sin embargo, estas reparaciones continuas provocan que las placas pierdan su forma original y aumenten su rugosidad, dañando rápidamente las telas y generando un ciclo constante de fallas y reemplazos.

## 4. Mano de Obra/Personal

Causa 1: Falta de Capacitación del personal. Se descarta esta causa, ya que el personal está completamente capacitado y sus competencias se evaluaron debidamente.

Causa 2: Falta de Supervisión. Existe una supervisión constante de los Jefes de turno durante la realización de todos los trabajos para asegurar que los operadores cumplan con todos los estándares establecidos.

Causa 3: Operación fuera de rangos establecidos. Esta causa se confirma, ya que se han identificado desviaciones en los parámetros operativos, destacando particularmente el exceso de presión de sellado. Operar por encima de los rangos recomendados contribuye significativamente al desgaste prematuro tanto de las telas como de las placas, afectando su desempeño y reduciendo su vida útil.

La Tabla 4.2 presenta un resumen del análisis causa raíz realizado para identificar los factores que contribuyen al aumento en el número de telas utilizadas durante 2024 en comparación con 2023. Este resumen consolida las causas analizadas en el Diagrama de Ishikawa, indicando si fueron confirmadas o descartadas en base a la información y evidencia disponible.

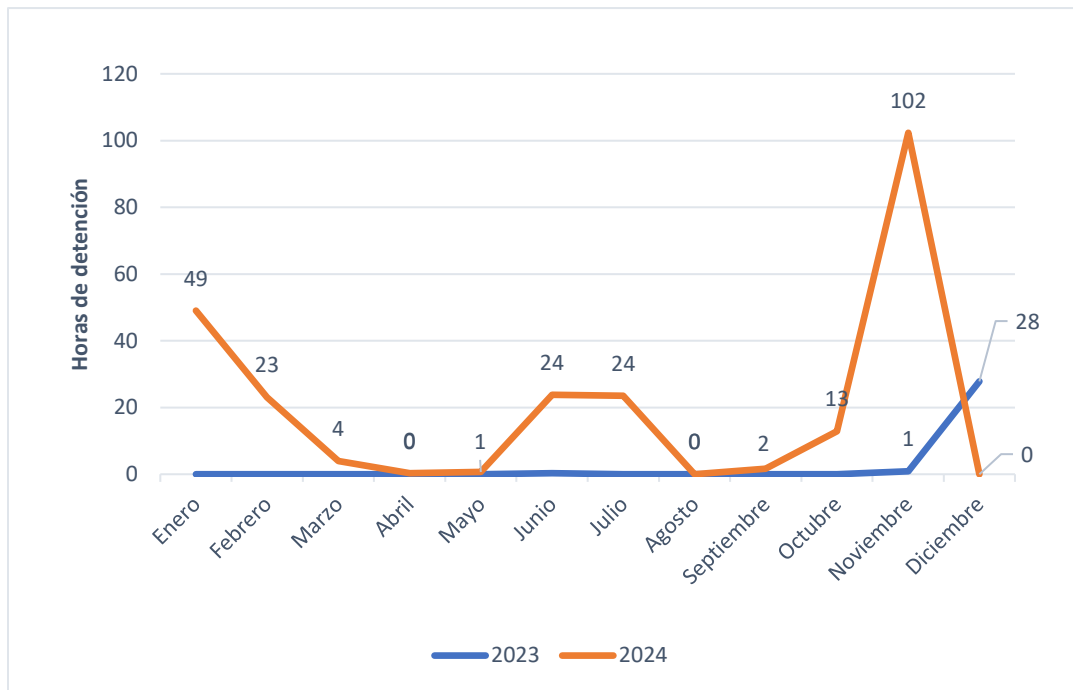
**Tabla 4.2: Resumen Validación de Causas para el Aumento del Número de Telas utilizadas en 2024 en comparación con 2023 (Elaboración Propia).**

Categoría	Causa	Validación
Método/ Proceso	Procedimiento de cambio de tela inadecuado	Descartada
	Mantenimiento preventivo insuficiente	Confirmada
	Monitoreo de vida útil de las telas	Confirmada
Medio Ambiente/Entorno	Condiciones de concentrado inadecuadas	Confirmada
	Condiciones Externas	Descartada
	Incremento de la Demanda Operativa	Confirmada
Máquina/Herramienta	Utilización de nuevas telas con distinta calidad	Descartada
	Lavado de Telas Deficiente	Confirmada
	Utilización de Placas Reparadas	Confirmada
Mano de Obra/Personal	Falta de Capacitación del personal	Descartada
	Falta de Supervisión	Descartada
	Operación fuera de rangos establecidos.	Confirmada

El análisis realizado permitió identificar las causas más relevantes detrás del aumento en el uso de telas durante 2024, destacando factores como la ausencia de un mantenimiento preventivo estructurado, la falta de monitoreo de la vida útil de las telas, las condiciones variables del concentrado y el incremento de la demanda operativa. Estas causas, junto con el impacto de operar fuera de los rangos establecidos y las fallas en las placas que interactúan directamente con las telas, representan los principales puntos críticos a abordar.

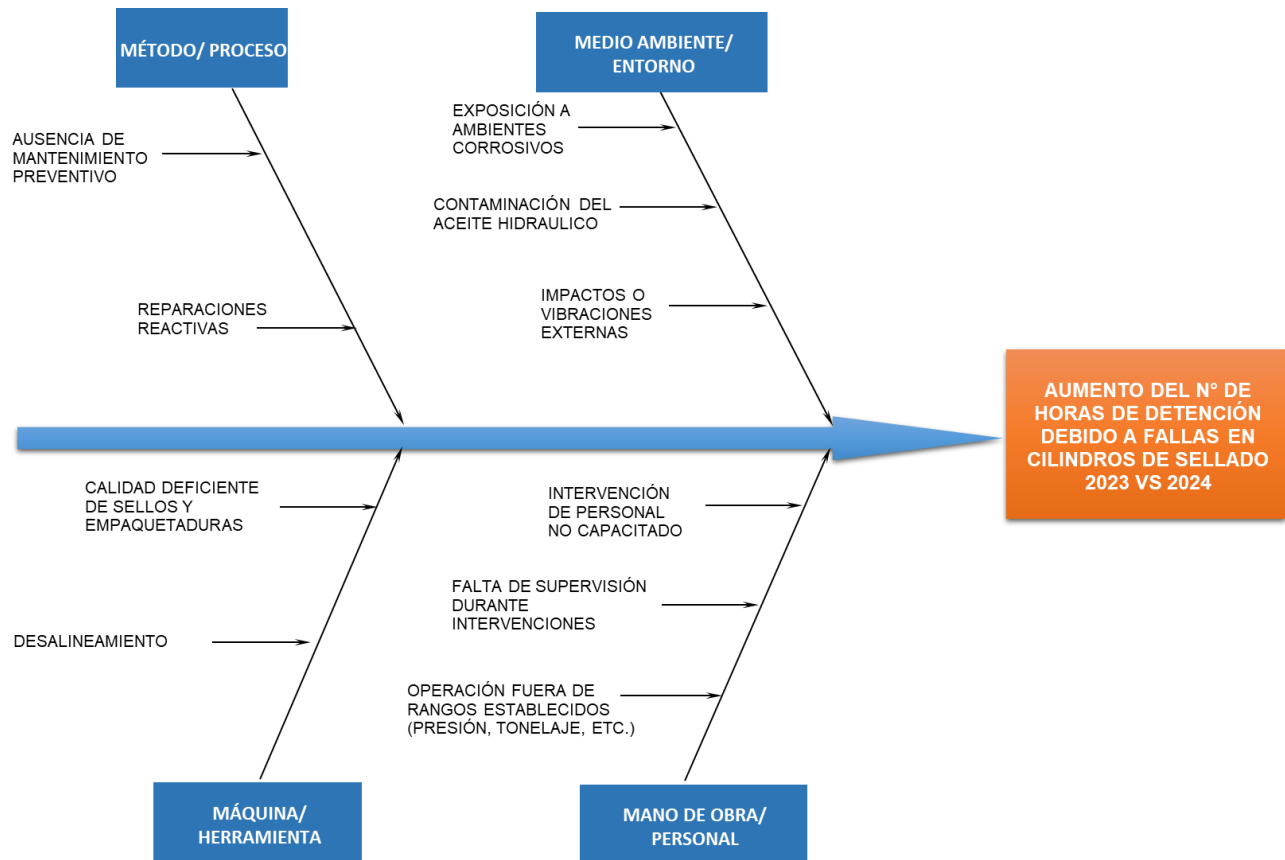
### 4.2.3 Conjunto Cabezal: Componente Cilindro de Sellado

Durante el periodo 2023-2024, se ha observado un aumento significativo en las horas de detención debido a fallas en los cilindros de sellado. La Figura 4.9 presenta la comparación entre ambos años.



**Figura 4.9: Horas de Detención por Fallas en Cilindros de Sellado 2023 vs 2024 (Elaboración Propia).**

A partir del gráfico, se evidencia que mientras en 2023 las horas de detención por fallas en los cilindros de sellado se mantuvieron bajas y relativamente estables, en 2024 se presenta un incremento marcado, especialmente en los meses de noviembre y diciembre, alcanzando un máximo de 102 horas de detención en noviembre, lo cual representa más de 4 días sin disponibilidad de uno de los filtros. Este aumento abrupto sugiere la existencia de una causa subyacente que está afectando el desempeño de estos cilindros, por lo cual se realizará un ACR para identificar los factores que han contribuido a este comportamiento. La Figura 4.10 muestra el diagrama de Ishikawa utilizado para determinar las posibles causas detrás del aumento en las fallas en los cilindros de sellado.



**Figura 4.10: ACR Diagrama de Ishikawa Componente Cilindros de Sellado (Elaboración Propia).**

El diagrama de Ishikawa presentado identifica las posibles causas del aumento en las fallas de los cilindros de sellado, las cuales se clasifican de la siguiente manera:

1. Método/ Proceso:

- Ausencia de Mantenimiento preventivo: La falta de inspecciones y reemplazos programados puede llevar al desgaste prematuro de los cilindros de sellado, aumentando la probabilidad de fallas inesperadas.
- Reparaciones reactivas: Si las intervenciones se realizan solo cuando ocurre una falla, en lugar de seguir un plan de mantenimiento, los cilindros pueden operar en condiciones degradadas por periodos prolongados, dañando el filtro y la calidad del filtrado.

2. Medio Ambiente/ Entorno:

- Exposición a ambientes corrosivos: La presencia de agentes corrosivos como humedad o sustancias químicas agresivas, puede deteriorar los materiales de los cilindros y sus sellos, reduciendo su vida útil.
- Contaminación del aceite hidráulico: La presencia de partículas o impurezas en el fluido hidráulico puede causar desgaste en los sellos y componentes internos del cilindro, provocando fugas y fallas en el sistema.
- Impactos o vibraciones externas: Las vibraciones excesivas o golpes generados durante su instalación o traslado pueden afectar la alineación y el sellado del cilindro, acelerando su deterioro.

3. Máquina/ Herramienta:
  - Calidad deficiente de sellos y empaquetaduras: Si los sellos utilizados no cumplen con los estándares adecuados o tienen defectos de fabricación, afectarán el desempeño del cilindro
  - Desalineamiento: Una instalación incorrecta o el desgaste de los componentes pueden generar una desalineación en el cilindro, provocando fugas de aceite, pérdidas de presión, desgaste de componentes, etc.
4. Mano de Obra/ Personal:
  - Intervención de personal no capacitado: La manipulación de los cilindros por parte de personal sin la formación adecuada puede derivar en procedimientos incorrectos y finalmente dañar los componentes.
  - Falta de supervisión durante intervenciones: La ausencia de control y supervisión en las tareas de mantenimiento puede permitir errores en la instalación, ajustes incorrectos o uso de piezas inadecuadas.
  - Operación fuera de los rangos establecidos: Si los cilindros operan con una presión superior a la recomendada, los componentes pueden sufrir un desgaste acelerado o incluso fallas catastróficas.

## **Validación de Causas**

### 1. Método/Proceso

Causa 1: Ausencia de mantenimiento preventivo. Actualmente no existe un programa de mantenimiento preventivo formal para los cilindros de sellado. Las inspecciones y reemplazos se realizan solo cuando ocurre una falla, lo que incrementa la probabilidad de desgaste prematuro y fallas inesperadas.

Causa 2: Reparaciones reactivas. Las intervenciones en los cilindros se realizan solo de manera correctiva, sin un monitoreo sistemático del estado de los componentes. Esto genera periodos prolongados de operación con desgaste acumulado, aumentando el riesgo de fallas recurrentes.

### 2. Medio Ambiente/Entorno

Causa 1: Exposición a ambientes corrosivos. Aun cuando los cilindros están altamente expuestos a constante humedad, polvo y agentes químicos, están diseñados para operar bajo dichas condiciones sin que esto represente un factor determinante en su desgaste prematuro.

Causa 2: Contaminación del aceite hidráulico. Se han encontrado partículas e impurezas en el sistema hidráulico, lo que puede provocar desgaste en los sellos y afectar el correcto funcionamiento de los cilindros. No existe un control estricto sobre la calidad del fluido, ni un control que indique cada cuanto se debe cambiar.

Causa 3: Impactos o vibraciones externas. Los cilindros están expuestos a vibraciones provenientes de otros equipos en operación, así como a golpes accidentales durante las maniobras de mantenimiento o instalación. Esto puede afectar su alineación y la integridad de los sellos. Sin embargo, las vibraciones provenientes de los demás filtros y otros equipos presentes en planta no deberían representar un gran aumento en las fallas de los cilindros, ya que estos están diseñados para esta aplicación en particular. Además, se considera que los golpes durante el traslado o la instalación son condiciones particulares. No obstante, no existe un banco de pruebas en planta donde se pueda verificar el estado de los cilindros luego de ser enviados a reparación, lo que impide confirmar si el traslado fue realizado con el debido cuidado. Cabe destacar que la reparación de los cilindros está a cargo de una empresa externa que los transporta desde Calama hasta Antofagasta y luego los retorna a la planta (Más de 400 kilómetros de traslado por tierra).

### 3. Máquina/Herramienta

Causa 1: Calidad deficiente de sellos y empaquetaduras. Se ha identificado que algunos sellos presentan un desgaste prematuro, lo que podría estar relacionado con la calidad de los materiales utilizados. No se cuenta con un control riguroso sobre la procedencia y especificaciones de los sellos reemplazados.

Causa 2: Desalineamiento. Se han detectado casos en los que los cilindros presentan un montaje incorrecto o desgaste en los componentes que afectan su alineación. Esto genera un esfuerzo desigual en los sellos, provocando fugas y fallas prematuras.

### 4. Mano de Obra/Personal

Causa 1: Personal no Capacitado. El personal encargado de la intervención de los cilindros corresponde específicamente a especialistas hidráulicos, los cuales han recibido capacitación formal y cuentan con la experiencia requerida para la manipulación y mantenimiento de estos equipos.

Causa 2: Falta de supervisión. Aunque se realiza supervisión durante la instalación de los cilindros, no existe un control de calidad adecuado cuando estos regresan de reparación. La ausencia de un banco de pruebas en la planta impide verificar su correcto funcionamiento antes de ser reinstalados, lo que podría permitir la instalación de cilindros con defectos o fallas no detectadas tras el proceso de reparación.

Causa 3: Operación fuera de Rangos establecidos. Se han identificado desviaciones en las presiones de sellado utilizadas durante la operación de los filtros. Esto contribuye al desgaste acelerado de los sellos y al mal funcionamiento de los cilindros.

La Tabla 4.3 presenta un resumen del análisis causa-raíz realizado para identificar los factores que han contribuido al incremento de fallas en los cilindros de sellado durante 2024 en comparación con 2023. A través de la validación de cada causa potencial, se determinaron cuáles tienen un impacto directo en la problemática y cuáles pueden descartarse.

**Tabla 4.1: Resumen Validación de Causas para el Aumento en las Fallas de los Cilindros de Sellado en 2024 en comparación con 2023 (Elaboración Propia).**

Categoría	Causa	Validación
Método/ Proceso	Ausencia de Mantenimiento preventivo	Confirmada
	Reparaciones Reactivas	Confirmada
Medio Ambiente/Entorno	Exposición a ambientes corrosivos	Descartada
	Contaminación del Aceite Hidráulico	Confirmada
	Impactos o Vibraciones Externas	Descartada
Máquina/Herramienta	Calidad deficiente de Sellos y Empaquetaduras	Confirmada
	Desalineamiento	Confirmada
Mano de Obra/Personal	Personal no Capacitado	Descartada
	Falta de Supervisión	Confirmada
	Operación fuera de rangos establecidos.	Confirmada

Dentro de las causas confirmadas, destaca la ausencia de un procedimiento de mantenimiento preventivo, lo que ha llevado a que los cilindros operen sin inspecciones programadas hasta que presentan fallas evidentes. Además, el enfoque reactivo impide abordar las fallas de manera anticipada, lo cual aumenta el tiempo de inactividad del equipo y dificulta la gestión de repuestos.

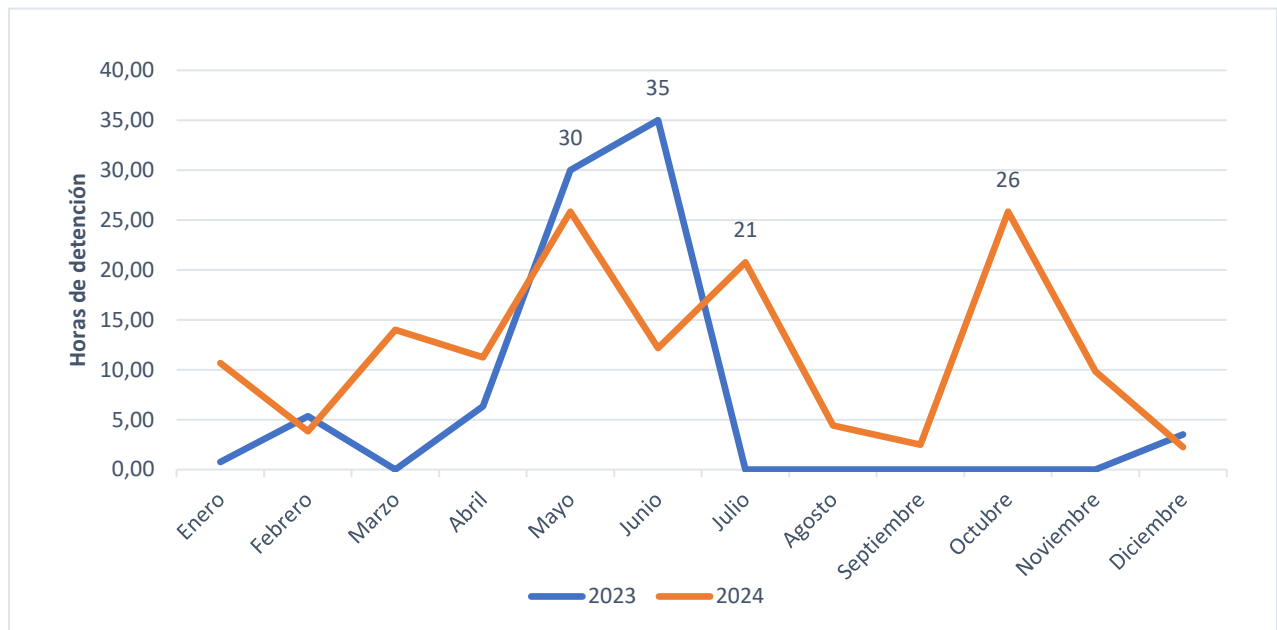
En cuanto a factores relacionados con el entorno de operación, se confirma como una causa relevante el uso de aceite hidráulico, ya que la presencia de partículas o impurezas en el sistema puede generar desgaste en los sellos y empaquetaduras de los cilindros. Sin embargo, se descartó la exposición a ambientes corrosivos, ya que los cilindros están diseñados para operar en estas condiciones de humedad y presencia de polvo, sin que estas representen una causa de falla significativa.

A nivel de componentes mecánicos, se confirmó que la calidad deficiente de sellos y empaquetaduras, junto con problemas de desalineamiento, han sido factores clave en el aumento de fallas. El uso de materiales inadecuados o el deterioro prematuro de los sellos afecta la capacidad del cilindro para mantener una correcta estanqueidad, mientras que el desalineamiento genera esfuerzos adicionales que aceleran su desgaste.

Finalmente, en el ámbito del recurso humano y la supervisión, si bien se descartó la falta de capacitación del personal, se confirmó la ausencia de un control de calidad adecuado en los cilindros luego de su reparación. La falta de un banco de pruebas impide verificar su estado antes de ser instalados, lo que podría dar lugar a la utilización de cilindros defectuosos. Además, trabajar con una presión mayor a 2000 [psi] ha generado esfuerzos excesivos sobre los cilindros, reduciendo su vida útil y aumentando la frecuencia de falla

#### 4.2.4 Conjunto Compuertas: Componente Compuerta Frontal

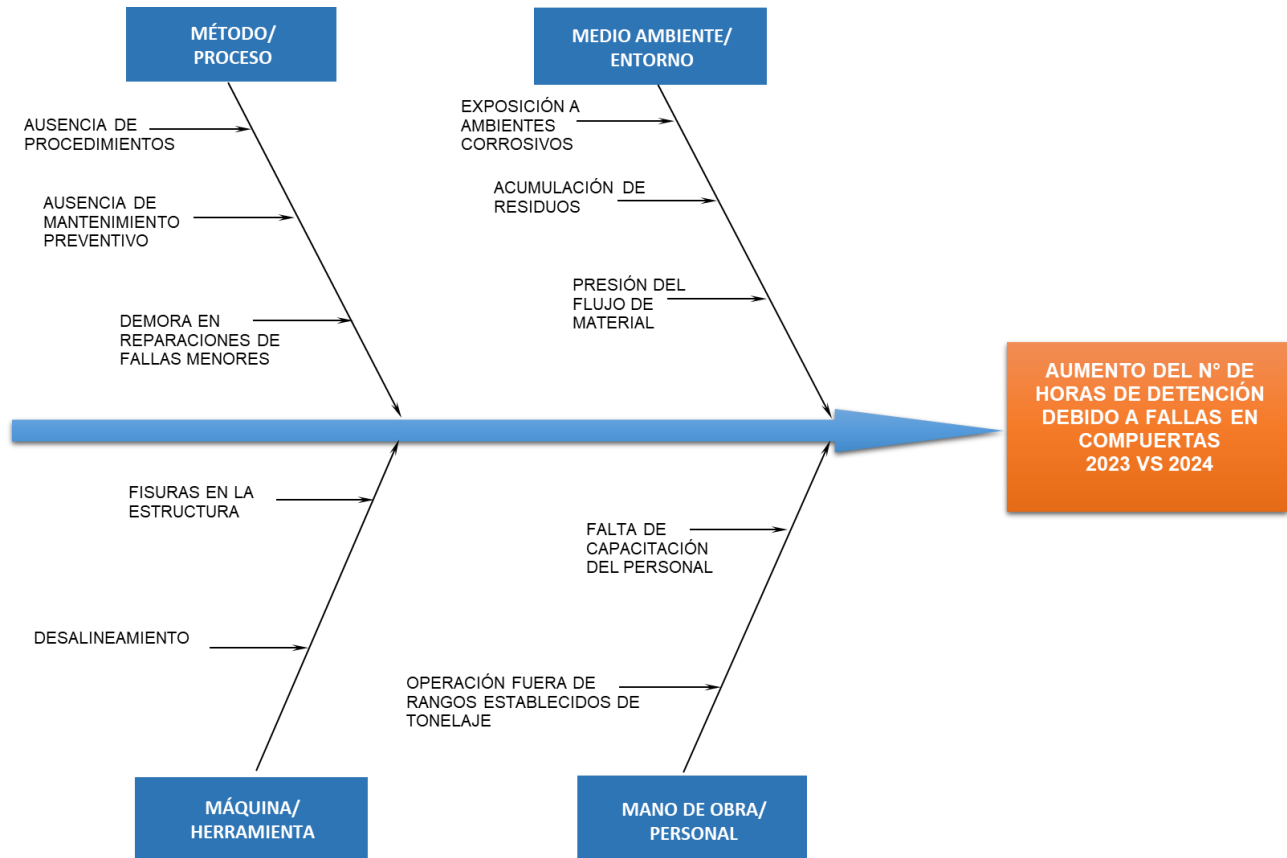
La Figura 4.11 muestra la cantidad de horas de detención mensuales debido a fallas en compuertas durante los años 2023 y 2024.



**Figura 4.11: Horas de Detención por Fallas en Compuertas 2023 vs 2024 (Elaboración Propia).**

En 2024, las horas de detención por fallas en compuertas fueron significativamente mayores que en 2023, con un total de 143 horas frente a las 81 horas del año anterior. Durante el primer trimestre, 2024 presentó valores más elevados en enero y febrero, y un incremento en marzo, mientras que en 2023 las detenciones se mantuvieron bajas. En el segundo trimestre, ambos años mostraron un aumento considerable en mayo y junio, con un pico de 35 horas en junio de 2023 y 25 horas en mayo de 2024. En el tercer trimestre, las fallas en 2023 desaparecieron casi por completo desde julio a diciembre, mientras que en 2024 la reducción no fue tan marcada. Finalmente, en el cuarto trimestre, 2024 registró un fuerte aumento en octubre (26 horas), seguido de una disminución en noviembre y diciembre, acercándose a los valores de 2023. Estos datos reflejan un incremento en la recurrencia de fallas en 2024, con máximos distribuidos a lo largo del año.

Para analizar el aumento en las horas de detención por fallas en las compuertas, se ha utilizado el Diagrama de Ishikawa o diagrama de causa y efecto presentado en la Figura 4.12, el cual permite identificar las posibles razones detrás de este incremento.



**Figura 4.12: ACR Diagrama de Ishikawa Componente Compuertas (Elaboración Propia).**

El diagrama de Ishikawa presentado identifica las posibles causas del aumento en las fallas de las compuertas, las cuales se clasifican de la siguiente manera:

#### 1. Método/ Proceso:

- **Ausencia de Procedimientos:** La falta de protocolos claros y estandarizados para la inspección, operación y mantenimiento de las compuertas puede generar variabilidad en su uso, provocando fallas prematuras y afectando la eficiencia del sistema.
- **Ausencia de Mantenimiento Preventivo:** Sin un plan de mantenimiento regular, las compuertas pueden acumular desgaste en sus mecanismos de apertura y cierre, lo que puede derivar en fallas operacionales, filtraciones de agua o dificultad en su correcto sellado.
- **Demora en reparaciones de fallas menores:** Pequeñas grietas, desalineamientos o desgastes superficiales que no se corrigen a tiempo pueden agravarse con cada ciclo operativo, aumentando la posibilidad de fallas críticas y tiempos de detención prolongados.

## 2. Medio Ambiente/ Entorno:

- Exposición a ambientes corrosivos: Las compuertas operan en contacto con agua filtrada y partículas del material procesado. La presencia de humedad y elementos corrosivos puede degradar su estructura y mecanismos, reduciendo su vida útil.
- Acumulación de residuos: Durante la descarga del filtro, parte de la carga impacta directamente en las compuertas, generando acumulación de material en sus bordes o mecanismos de cierre, lo que puede impedir un sellado adecuado y afectar su funcionamiento.
- Presión del flujo de material: Cuando las compuertas se abren para permitir el paso del material seco a la correa transportadora, este impacta contra ellas. Si la presión del flujo de material es superior a la esperada, puede acelerar su desgaste, generar deformaciones o provocar desajustes en su alineación.

## 3. Máquina/ Herramienta:

- Fisuras en la estructura: Debido a los impactos constantes del material descargado, las compuertas pueden desarrollar grietas o fisuras, lo que compromete su integridad estructural y su capacidad de sellado, afectando la recirculación del agua filtrada.
- Desalineamiento: Un mal ajuste de las compuertas respecto a su posición original puede generar problemas en su cierre hermético, provocando fugas de agua sobre la carga filtrada o un desgaste desigual en sus mecanismos de soporte. Este desajuste puede ser causado por impactos repetitivos, sobrecarga de material o acumulación de residuos en los rieles de movimiento.

## 4. Mano de Obra/ Personal:

- Falta de capacitación del personal: Un uso inadecuado de las compuertas, errores en su ajuste o mantenimiento incorrecto pueden derivar en fallas prematuras, dificultades en su cierre o una operación ineficiente dentro del ciclo del filtro.
- Operación fuera de rangos establecidos de tonelaje: Si el filtro trabaja con un tonelaje superior al diseñado, la carga impactará con mayor fuerza sobre las compuertas, aumentando el riesgo de grietas y desalineamientos debido a los altos esfuerzos mecánicos a los que se someten en cada ciclo.

## **Validación de Causas**

### 1. Método/Proceso

Causa 1: Ausencia de Procedimientos. Se ha identificado que no existe un procedimiento detallado que indique como realizar la inspección y mantenimiento de las compuertas. Entrevistas con operadores indican que la falta de estandarización en la operación genera grandes acumulaciones de carga en los descansos de las compuertas, lo que con el tiempo se traduce en desalineamiento de los ejes de las compuertas.

Causa 2: Ausencia de Mantenimiento Preventivo. No se han identificado registros de mantenimiento preventivo específicos para las compuertas. Por otro lado, se han observado fallas acumulativas por desgaste, lo que indica falta de acciones preventivas.

Causa 3: Demora en reparaciones de fallas menores. Se han detectado grietas y fisuras que no fueron reparadas a tiempo, las cuales continuaron agravándose con cada ciclo. El historial de fallas muestra que problemas menores se han convertido en fallas críticas con el tiempo.

## 2. Medio Ambiente/Entorno

Causa 1: Exposición a ambientes corrosivos. Aunque las compuertas están en constante exposición a la humedad, no se han identificado signos de oxidación. Esto se debe a que cuentan con un recubrimiento diseñado específicamente para prevenir la corrosión causada por la humedad y los residuos del proceso.

Causa 2: Acumulación de Residuos. Se ha confirmado que la acumulación de material en las compuertas afecta su capacidad de cierre. Durante las inspecciones se ha observado la presencia constante de residuos que impiden un sellado adecuado. Debido a esta acumulación, es necesario realizar limpiezas frecuentes para evitar que las compuertas dejen pasar el agua hacia la carga recién filtrada.

Causa 3: Presión del flujo de material. Se ha validado que el concentrado filtrado impacta directamente en las compuertas durante la etapa de descarga, generando una fuerza considerable sobre su estructura (Anexo 10). Inspecciones han evidenciado deformaciones en zonas específicas de las compuertas que coinciden con los puntos de mayor impacto, lo que sugiere que la presión ejercida por el flujo de material es un factor relevante en el desgaste y deterioro de estos componentes.

## 3. Máquina/Herramienta

Causa 1: Fisuras en la estructura. Se ha confirmado la presencia de fisuras en las compuertas, particularmente en los puntos de mayor impacto durante la descarga de material. Estas grietas generan filtraciones de agua, lo que compromete la eficiencia del proceso de filtrado y afecta la calidad del producto final. La aparición recurrente de estas fisuras indica que las compuertas están sometidas a esfuerzos mecánicos considerables, lo que podría estar relacionado con la sobrecarga operativa y la falta de intervenciones preventivas oportunas.

Causa 2: Desalineamiento. Se ha validado que algunas compuertas presentan desalineamiento, lo que impide su cierre completo y afecta el correcto funcionamiento del filtro. Durante inspecciones operativas se ha detectado que, en algunos casos, el mecanismo de cierre no opera de manera uniforme, generando fugas de agua o material. Además, existen registros de intervenciones correctivas realizadas para ajustar la alineación de las compuertas, lo que sugiere que este es un problema recurrente que requiere un monitoreo más riguroso.

## 4. Mano de Obra/Personal

Causa 1: Falta de capacitación del personal. Si bien la capacitación general del personal en operación es adecuada, no se ha identificado un programa específico orientado al mantenimiento y correcto funcionamiento de las compuertas. Sin embargo, no hay evidencia suficiente para concluir que la falta de formación sea un factor determinante en el aumento de fallas. Las tareas asociadas a la operación

de las compuertas son parte de los procedimientos estándares, por lo que esta causa no se valida como un factor crítico en el incremento de las horas de detención.

Causa 2: Operación fuera de rangos establecidos de Tonelaje. Se ha confirmado que, en varios ciclos de operación, se ha trabajado con tonelajes superiores a los recomendados, lo que ha generado un impacto directo en la integridad de las compuertas. Registros operacionales evidencian que los filtros han procesado cargas excesivas en comparación con los parámetros establecidos por el fabricante. Además, se ha detectado un mayor desgaste en las compuertas de los filtros que han operado bajo estas condiciones, lo que sugiere que el sobrepeso contribuye significativamente a la deformación y fallas estructurales de estos componentes.

La Tabla 4.4 presenta un resumen de la validación de causas identificadas en el análisis causa-raíz sobre el aumento de fallas en las compuertas durante 2024 en comparación con 2023. Este análisis permitió determinar los factores que han contribuido al incremento en las horas de detención asociadas a estos componentes.

**Tabla 4.2: Resumen Validación de Causas para el Aumento en las Fallas de las Compuertas en 2024 en comparación con 2023 (Elaboración Propia).**

Categoría	Causa	Validación
Método/ Proceso	Ausencia de Procedimientos	Confirmada
	Ausencia de Mantenimiento Preventivo	Confirmada
	Demora en reparaciones de fallas menores	Confirmada
Medio Ambiente/Entorno	Exposición a ambientes corrosivos	Descartada
	Acumulación de residuos	Confirmada
	Presión del Flujo de material	Confirmada
Máquina/Herramienta	Fisuras en la estructura	Confirmada
	Desalineamiento	Confirmada
Mano de Obra/Personal	Falta de Capacitación	Descartada
	Operación fuera de rangos establecidos.	Confirmada

En la categoría de método/proceso, se confirma que la ausencia de procedimientos formales, la falta de un mantenimiento preventivo estructurado y la demora en la reparación de fallas menores han sido factores determinantes en la recurrencia de fallas en las compuertas. La falta de un plan de acción preventivo ha generado que los problemas estructurales y operativos de las compuertas se acumulen hasta volverse críticos, incrementando el tiempo de detención de los equipos.

Dentro de medio ambiente/entorno, la exposición a agentes corrosivos no se valida como una causa relevante, ya que las compuertas cuentan con un recubrimiento que las protege de la humedad y otros agentes que podrían acelerar su deterioro. Sin embargo, se confirma que la acumulación de residuos

sobre las compuertas y la alta presión del flujo de material impactando contra su estructura son factores que han contribuido a su deterioro progresivo.

En cuanto a máquina/herramienta, se valida la presencia de fisuras en la estructura y desalineamiento de las compuertas, aspectos que afectan su correcto funcionamiento y su capacidad de sellado. La combinación de estos factores ha derivado en filtraciones de agua y en un desempeño deficiente del sistema de apertura y cierre, lo que genera interrupciones operativas.

Finalmente, en la categoría de mano de obra/personal, la falta de capacitación del personal no se considera un factor determinante en el aumento de fallas, ya que las tareas operativas relacionadas con las compuertas forman parte de los procedimientos estándares. Sin embargo, se confirma que la operación de los filtros fuera de los rangos establecidos de tonelaje ha sido un factor clave en la aceleración del desgaste y en la generación de daños estructurales en las compuertas.

#### 4.2.5 Conclusión del Análisis de Causa Raíz de Componentes

El análisis causa-raíz realizado permitió identificar los factores clave que han contribuido al incremento en las fallas y detenciones de los componentes críticos evaluados durante 2024. Entre las principales causas confirmadas se encuentran la falta de mantenimiento preventivo, la operación fuera de los rangos recomendados y la reutilización de componentes reparados en lugar de nuevos, lo que ha acelerado el desgaste y generado fallas recurrentes.

A partir de estos hallazgos, se recomiendan las siguientes acciones para mejorar el rendimiento y la disponibilidad de los equipos:

1. **Establecer o Reforzar Planes de Mantenimiento:** Es fundamental implementar un plan de mantenimiento preventivo estructurado y detallado para todos los componentes críticos. Este plan debe incluir rutinas periódicas de revisión, limpieza, lubricación y reemplazo de piezas, basadas en las especificaciones del fabricante y las condiciones de operación reales. Esto permitirá detectar fallas incipientes antes de que se conviertan en problemas mayores y reducirá el tiempo de detención no planificado.
2. **Implementar Componentes del Filtro Ishigaki:** Evaluar e implementar la incorporación de componentes del filtro Ishigaki, los cuales son conocidos por su alta durabilidad, eficiencia operativa y mayor capacidad de tonelaje. Esta implementación ayudaría a abordar problemas críticos como el aumento de la demanda operativa, al contar con filtros capaces de manejar mayores volúmenes sin comprometer el rendimiento. Además, dado que el filtro Ishigaki es un modelo más nuevo, existe una mayor disponibilidad de piezas y repuestos, lo que contribuiría a resolver la falta de stock de componentes que actualmente afecta la operación. También, la estandarización de componentes facilitaría la gestión del mantenimiento, ya que no sería necesario recurrir a la reparación de piezas debido a la falta de disponibilidad, sino

que sería más fácil mantener un stock de componentes originales y nuevos, asegurando así una operación más eficiente y menos propensa a paradas imprevistas.

3. **Fortalecer Estándares Operacionales:** Es necesario reforzar y formalizar los estándares operacionales para garantizar que todas las actividades se realicen dentro de los rangos recomendados y con los procedimientos adecuados. Esto incluye entrenamientos periódicos para el personal, controles de calidad más estrictos para los repuestos y la prohibición del uso de componentes fuera de especificación. Mejorar la capacitación en buenas prácticas operativas y monitorear el desempeño en tiempo real asegurará un funcionamiento más eficiente y seguro de los equipos.

### **4.3 Análisis de Componentes del Filtro Ishigaki Recomendados para Implementación**

En el contexto de la optimización de los procesos de filtración en la planta, se ha identificado la necesidad de evaluar e implementar componentes del filtro Ishigaki. Este modelo de filtro es reconocido por su alta capacidad operativa, eficiencia en la filtración y mayor durabilidad en comparación con los filtros actualmente en uso. La introducción de componentes Ishigaki podría representar una mejora significativa en la gestión de los filtros de prensa, abordando varios de los problemas operativos que afectan la disponibilidad y el rendimiento de los equipos.

El objetivo de este análisis es evaluar los componentes clave del filtro Ishigaki recomendados para su implementación en la planta. Se busca identificar las ventajas operativas que ofrecen estos componentes, tanto en términos de aumento de la capacidad de procesamiento como en la mejora de la disponibilidad de repuestos y la estandarización de piezas. A través de este análisis, se pretende asegurar que la incorporación de los filtros Ishigaki no solo optimice la eficiencia operativa, sino que también contribuya a la reducción de paradas imprevistas, menores costos de mantenimiento y una mayor fiabilidad del sistema de filtración en general.

#### **4.3.1 Propuesta de Reemplazo de Componentes del Filtro Ishigaki**

Basado en la evaluación de fallas recurrentes en los equipos actuales, se recomienda el reemplazo de los siguientes componentes por los del filtro Ishigaki MCFGC-1500: placas de filtración, cabezales y compuertas. La selección de estos componentes responde a la necesidad de reducir el tiempo de inactividad, mejorar la eficiencia de filtración y aumentar la vida útil de los equipos en operación. A continuación, se presentan las características técnicas y beneficios operativos de cada uno de estos componentes, así como un análisis de las ventajas y desventajas asociadas a su implementación, con el objetivo de evaluar su impacto en la operación y su viabilidad dentro del sistema actual.

#### **Placas de Filtración**

Las placas de filtración son componentes fundamentales en el proceso de separación sólido-líquido. En los filtros actualmente en uso, se han identificado problemas relacionados con desgaste acelerado, deformaciones y fallas estructurales que generan filtraciones y reducción en la eficiencia operativa, esto debido principalmente al uso de placas reparadas, falta de stock de componentes y falta de estandarización (más de un tipo de placa).

La propuesta de utilizar placas de filtración Ishigaki ofrece diversas ventajas operativas y estructurales. En primer lugar, estas placas poseen dimensiones compatibles con la estructura actual del filtro, lo que permite su instalación sobre las vigas existentes sin necesidad de realizar

modificaciones estructurales. Además, presentan un espesor estándar de 85 mm, similar al de las placas actualmente en uso, cuyo rango varía entre 70 y 90 mm.

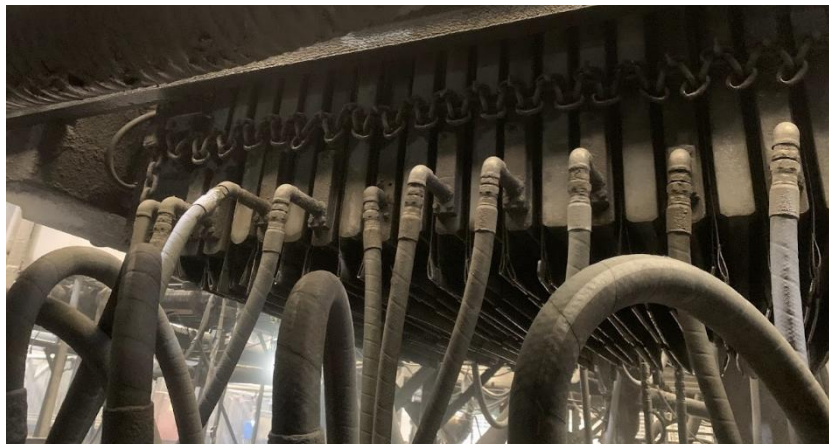
Uno de los principales beneficios de esta estandarización es que permitiría aumentar la capacidad de carga del filtro, ya que el espacio optimizado permitiría la instalación de dos placas adicionales, alcanzando un total de 73 placas por filtro. Esto se traduce en un incremento aproximado de 500 kg de material por ciclo. Considerando que cada filtro Lasta realiza alrededor de 60 ciclos diarios, la implementación de estas placas podría generar una ganancia de 90 toneladas de material filtrado por día en los tres filtros, lo que equivale a más de 2.700 toneladas adicionales de cobre filtrado al mes.

Otra ventaja significativa de las placas Ishigaki es la eliminación de las cajas de soplado y filtrado, junto con los flexibles y su correspondiente pernería. Actualmente, cada cámara cuenta con una caja de filtrado, otra de soplado y dos flexibles, lo que implica una gran cantidad de conexiones externas. La nueva geometría de las placas Ishigaki integra un sistema de tuberías a presión, eliminando los flexibles individuales y reemplazándolos por un solo manguerote de descarga a cada lado del filtro. La Figura 4.13 ilustra este cambio, comparando la configuración actual (b) con la propuesta Ishigaki (a).

a)

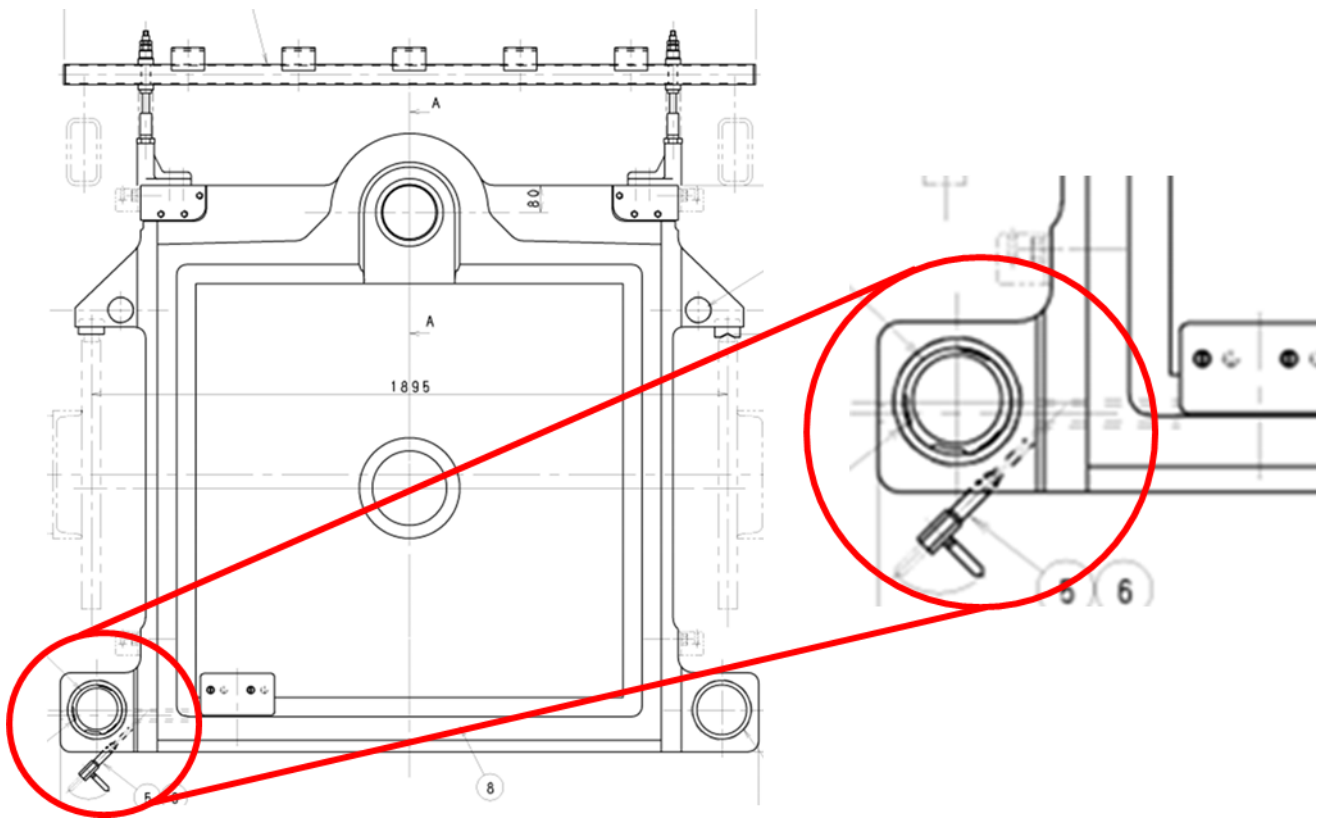


b)



**Figura 4.13: Comparación de la propuesta a) Ishigaki con b) Situación Actual para Placas.**

Sin embargo, esta modificación introduce un desafío operativo: en la configuración actual, los operadores utilizan los flexibles para identificar fallas en placas y telas observando la calidad del agua filtrada. Si el agua sale turbia o con residuos de concentrado, se detecta una rotura en la cámara correspondiente. Con el nuevo diseño, el agua filtrada de todas las cámaras se recolecta en una sola tubería de descarga, impidiendo la identificación visual directa de fallas en cada placa. No obstante, las placas Ishigaki incorporan una válvula de muestreo en la parte inferior, lo que permite realizar inspecciones de manera similar a la actual (Figura 4.14).



**Figura 4.14: Vista frontal de Placa Ishigaki con válvula de muestreo (Detalle).**

Además, las nuevas placas son compatibles con los soportes de tela utilizados en los filtros actuales, lo que facilita su implementación y permite reutilizar los soportes existentes, reduciendo costos de adquisición.

Otro beneficio clave de este modelo es su sistema de lavado de telas optimizado. A diferencia del sistema actual, donde cada cámara cuenta con una única boquilla de lavado, las placas Ishigaki incorporan cinco boquillas distribuidas estratégicamente, asegurando una limpieza uniforme y eficiente de la tela. Como se identificó en el análisis anterior, la acumulación de carga en las telas puede generar roturas prematuras y daños en las placas. La mejora en el lavado de telas podría reducir estos problemas y aumentar la vida útil de los componentes.

Si bien la implementación de las placas Ishigaki representa una mejora significativa en términos de eficiencia y mantenimiento, también existen desafíos técnicos que deben abordarse antes de su instalación. Uno de los principales aspectos a considerar es el cambio en el diámetro de alimentación de cada cámara, el cual disminuye de 160 mm a 150 mm (Ver plano de Placa Actual en Anexo 5). Esta diferencia, aunque relativamente pequeña, implica la necesidad de actualizar todo el sistema de alimentación del filtro, lo que incluye la modificación de los manguerotes y otros componentes asociados para garantizar un ajuste adecuado y un correcto funcionamiento del flujo de material.

Otro desafío relevante es la compatibilidad de las nuevas placas con otros componentes del sistema de filtración. Debido a su diseño particular, las placas Ishigaki no son compatibles con las telas y empaquetaduras utilizadas en los filtros actuales (Planos de Telas Actuales y Telas Ishigaki en Anexo 11). Como resultado, estos componentes deberán ser reemplazados por versiones específicas diseñadas para este modelo de filtro, lo que podría generar costos adicionales y requerir ajustes en los procesos de mantenimiento y reposición de repuestos.

Adicionalmente, una de las innovaciones clave del filtro Ishigaki es la incorporación de barras de vibración en su estructura, las cuales están diseñadas para facilitar la descarga del queque y prevenir la acumulación de material adherido a las telas. No obstante, en la planta de filtros actual, la implementación de este sistema no es viable debido a limitaciones estructurales. En el año 2019 se intentó instalar barras de vibración en los filtros existentes, pero la insuficiente resistencia estructural impidió que la modificación se mantuviera operativa, lo que sugiere que la infraestructura actual no es capaz de soportar esta actualización.

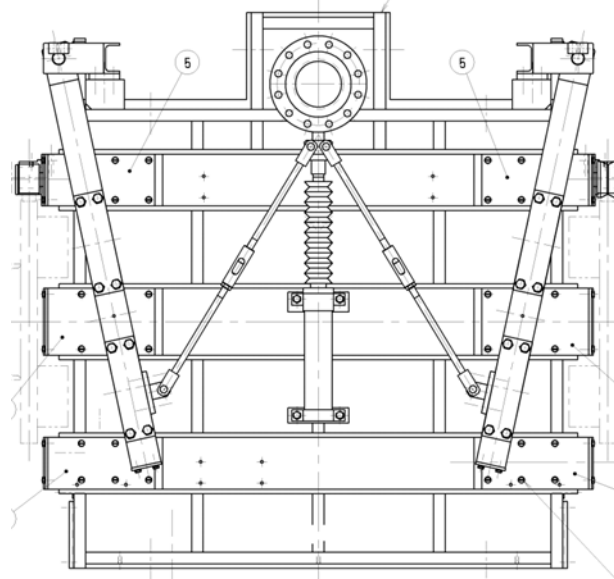
## **Cabezales**

La implementación de los cabezales Ishigaki, tanto frontal como de espalda, representa una mejora significativa en términos de estabilidad operativa, alineación de los componentes y reducción de fallas recurrentes en los filtros de prensa. Su diseño optimizado permite minimizar tiempos de detención y reducir la necesidad de intervenciones correctivas.

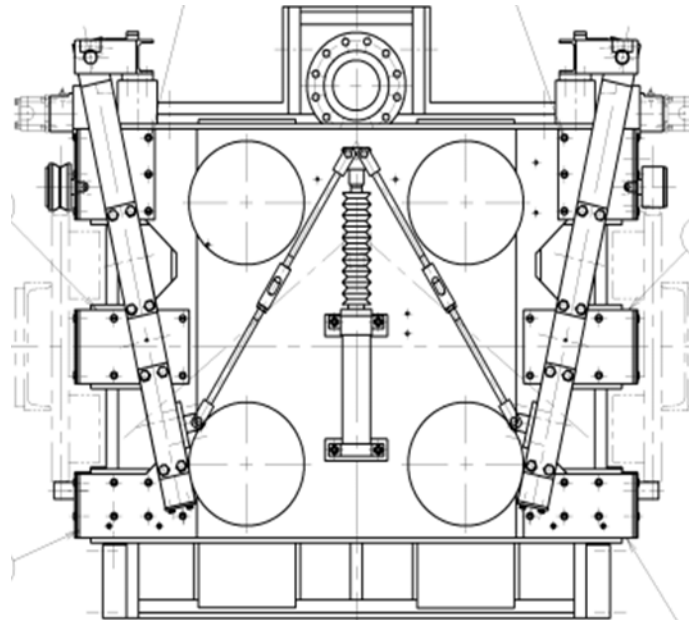
Una de las principales ventajas de los cabezales Ishigaki es su compatibilidad estructural con las vigas principales del sistema de filtrado actual. Dado que sus dimensiones coinciden con la estructura existente, su instalación no requiere modificaciones estructurales adicionales, lo que facilita su implementación sin afectar la disposición general de los equipos.

Otro beneficio clave es el nuevo sistema de bloqueo que incorporan estos cabezales, el cual opera con un solo cilindro de bloqueo en lugar de los dos cilindros utilizados en el sistema actual. En el diseño de los filtros actuales, cada cabezal utiliza dos cilindros de bloqueo, lo que en ocasiones genera descoordinaciones en su accionamiento, provocando desalineaciones en el filtro. Con la nueva configuración de un solo cilindro de bloqueo por compuerta, se garantiza que ambos bloqueos (lado norte y lado sur) de cada compuerta se accionen simultáneamente, eliminando el problema de descoordinación y asegurando un alineamiento más preciso del sistema. En la Figura 4.15 se presentan los planos de los cabezales frontal (a) y espalda (b) Ishigaki.

a)



b)



**Figura 4.15: Plano de Cabezales a) Frontal y b) Espalda Ishigaki**

Adicionalmente, los cilindros de sellado que incorporan los cabezales Ishigaki son totalmente compatibles con la unidad hidráulica utilizada actualmente en la planta. De hecho, en una emergencia operativa ocurrida en el filtro Lasta 3, donde fallaron tres de los cuatro cilindros de sellado y no había stock de repuestos nuevos o reparados, se instalaron cilindros de sellado de cabezales Ishigaki como una solución de contingencia. Desde su instalación, el filtro ha operado sin nuevas fallas relacionadas con los cilindros de sellado, lo que demuestra que la utilización de componentes en óptimas condiciones mejora la estabilidad del sistema y reduce significativamente las detenciones no programadas (Ver Anexo 12).

A pesar de las ventajas que ofrece la implementación de los cabezales Ishigaki, existen ciertos desafíos que deben considerarse. La principal desventaja es que estos cabezales no son compatibles con las placas actualmente en uso, por lo que su instalación requiere obligatoriamente la adopción de las placas Ishigaki. Esto implica la necesidad de reemplazar no solo los cabezales, sino también las placas filtrantes, lo que conlleva una mayor inversión y modificaciones en la configuración del filtro. En la Figura 4.16 se puede apreciar la comparación entre la configuración actual (b) y la del filtro Ishigaki (a) en cuanto a los cabezales.

a)



b)



**Figura 4.16: Comparación propuesta a) Ishigaki con b) Situación Actual para Cabezales.**

## **Compuertas**

Si bien las compuertas del filtro Ishigaki presentan características similares a las compuertas utilizadas actualmente en los filtros de la planta, se recomienda su implementación principalmente debido a la falta de un plan estructurado de mantenimiento e inspección en las compuertas actuales. La ausencia de un registro preciso sobre su historial operativo impide determinar con exactitud el tiempo que han estado en funcionamiento y el desgaste acumulado que han experimentado.

La incorporación de nuevas compuertas Ishigaki permitiría establecer un punto de partida para implementar un programa de mantenimiento preventivo y monitoreo de su estado a lo largo de su vida útil. Al iniciar su operación con componentes nuevos, se podría definir un plan de inspección periódico basado en su capacidad de carga y en las recomendaciones del fabricante, asegurando que las compuertas operen dentro de sus rangos de diseño y evitando fallas prematuras.

Otro beneficio clave de la instalación de compuertas nuevas es que se podría optimizar la gestión de repuestos y establecer un control más riguroso sobre su desgaste. En el sistema actual, la falta de datos concretos sobre la durabilidad de las compuertas ha dificultado la toma de decisiones sobre su reemplazo o reparación, lo que en ocasiones ha derivado en fallas inesperadas y detenciones no programadas. Con un seguimiento adecuado desde la puesta en marcha de las compuertas Ishigaki, sería posible estimar con mayor precisión su ciclo de vida y programar intervenciones en función de su estado real.

## CAPÍTULO 5: Resultados y Discusión Técnica

### 5.1 Resultados

A partir del análisis de los filtros Lasta en la Planta de Filtros de la División Chuquicamata, se han obtenido los siguientes resultados:

**Identificación de Componentes Críticos:** A través del análisis Jack Knife, se determinó que los principales elementos que provocan detenciones no programadas en los filtros Lasta son el conjunto Placa, el Cabezal y las Compuertas. Estos componentes presentan altos índices de fallas y generan impactos significativos en la disponibilidad operativa de los filtros. La criticidad de estos elementos radica en su función estructural y mecánica, lo que los convierte en puntos clave para cualquier estrategia de mantenimiento o actualización tecnológica.

**Evaluación del Desempeño de los Filtros:** Se identificó que el filtro Lasta 1 es el equipo con mayor tiempo de detención dentro de la planta, acumulando un 43% del total de horas de inactividad registradas. Esta alta incidencia de fallas no programadas refuerza la necesidad de focalizar esfuerzos en su optimización. El comportamiento de los otros filtros Lasta también refleja patrones de detención similares, aunque en menor escala, lo que sugiere que las deficiencias en el mantenimiento y operación no son eventos aislados, sino una tendencia recurrente dentro del sistema de filtración.

**Análisis Causa Raíz:** Se han identificado diversas razones para el deterioro acelerado de los componentes críticos. Entre los factores más relevantes se encuentra la operación fuera de los rangos recomendados de presión y tonelaje, lo que incrementa el desgaste de las placas y las telas filtrantes. Además, se observó que el uso de placas reparadas en lugar de nuevas contribuye a la disminución de la eficiencia del proceso, generando mayores costos de mantenimiento y tiempos de inactividad imprevistos. A esto se suma la falta de un mantenimiento preventivo estructurado, lo que ha generado un modelo de gestión reactivo en lugar de una planificación estratégica a largo plazo.

**Impacto de las Telas Filtrantes:** Se evidenció una correlación directa entre el aumento en las fallas de las placas y el incremento en la rotura de telas. En el período 2023-2024, se registró un aumento del 50% en el consumo de telas filtrantes, lo que indica un problema en la gestión de estos elementos. Se determinó que la calidad del concentrado de cobre, sumada a una limpieza deficiente de las telas y la fricción causada por placas desgastadas, está contribuyendo al deterioro prematuro de este componente esencial para la eficiencia del filtrado.

**Condiciones Operativas y Mantenimiento:** Se confirmó que el mantenimiento correctivo reactivo representa una de las principales causas de fallas recurrentes en los filtros Lasta. Además, se verificó que los filtros están operando a presiones superiores a los límites recomendados por el fabricante, lo que genera esfuerzos mecánicos adicionales sobre las placas y compuertas. Esta situación afecta la durabilidad de los componentes y aumenta la frecuencia de paradas no programadas, impactando negativamente la continuidad operativa de la planta.

## 5.2 Discusión Técnica

Los resultados obtenidos reflejan la necesidad urgente de optimizar la gestión del mantenimiento y la operación de los filtros Lasta en la Planta de Filtros. La alta frecuencia de fallas observada en los componentes críticos confirma que la estrategia actual basada en correcciones reactivas no es sostenible a largo plazo y que es imperativo implementar medidas preventivas para reducir los tiempos de inactividad.

El análisis de desempeño pone de manifiesto que los filtros Lasta concentran más del 60% de las horas de detención dentro de la planta, con el filtro Lasta 1 siendo el equipo más afectado. Si bien la implementación de una modernización completa de los filtros es una alternativa viable, su alto costo sumado al tiempo de detención de planta necesario para la instalación del filtro hace que sea fundamental explorar soluciones a corto plazo, como la optimización de parámetros operativos, la mejora en los protocolos de mantenimiento y el desarrollo de estrategias predictivas para la gestión de componentes críticos.

Además, se ha observado que la falta de un plan de mantenimiento estructurado ha provocado una dependencia excesiva de soluciones correctivas, lo que genera un círculo vicioso de fallas recurrentes y costos elevados de reparación. En este sentido, la implementación de un modelo de mantenimiento preventivo basado en la detección temprana de fallas podría representar una solución eficiente para reducir tiempos de inactividad y optimizar el uso de recursos.

Otro aspecto crítico identificado en la discusión es el impacto directo del deterioro de las placas sobre la vida útil de las telas filtrantes. La relación entre estos dos componentes es fundamental, ya que el desgaste prematuro de las telas genera una mayor carga operativa sobre las placas, incrementando el riesgo de fallas estructurales y la necesidad de reparaciones constantes. En este contexto, se hace evidente la necesidad de un enfoque integral en la gestión del mantenimiento, considerando la interdependencia de estos elementos y la implementación de estrategias para prolongar su vida útil.

Por otro lado, la variabilidad en la calidad del concentrado de cobre procesado en los filtros también representa un desafío significativo. Factores como la composición química del material, el contenido de humedad y la presencia de partículas abrasivas pueden influir en la tasa de desgaste de los componentes del filtro. Ante esta situación, se recomienda un monitoreo continuo de las propiedades del concentrado y la implementación de ajustes operacionales en tiempo real para minimizar su impacto en la eficiencia del proceso de filtración.

Finalmente, los resultados obtenidos han permitido evaluar la factibilidad de la implementación del modelo de filtro Ishigaki MCFGC-1500 como una alternativa tecnológica a los filtros Lasta actuales. Sin embargo, antes de proceder con su implementación, es necesario un estudio detallado de costos y beneficios que permita cuantificar el impacto financiero y operativo de esta inversión. Los hallazgos sugieren que la modernización podría representar una mejora significativa en términos de eficiencia, reducción de costos de mantenimiento y optimización del proceso de filtración, pero su viabilidad dependerá de factores como la disponibilidad de financiamiento, la compatibilidad con la infraestructura existente y el impacto en la producción a largo plazo.

## CAPÍTULO 6: Conclusiones

El estudio desarrollado permitió dar cumplimiento a los objetivos específicos propuestos, entregando resultados concluyentes respecto al estado actual de los filtros Lasta, las oportunidades de mejora y la factibilidad de incorporar nuevas tecnologías. A partir del trabajo realizado, se concluye lo siguiente:

1. **Identificación de Componentes Críticos (OE1):** Se identificaron como componentes críticos los conjuntos de placas, cabezal y compuertas, los cuales presentan la mayor incidencia de fallas no programadas y generan significativos tiempos de detención. Estos hallazgos fueron obtenidos mediante análisis Jack Knife y análisis causa-raíz, demostrando la necesidad urgente de intervención para mejorar la disponibilidad operativa del sistema de filtración.
2. **Evaluación del Impacto del Modelo MCFGC-1500 (OE2):** El análisis comparativo evidenció que el modelo de filtro Ishigaki MCFGC-1500 ofrece mejoras en términos de eficiencia, confiabilidad y reducción de costos operativos respecto al modelo Lasta MC actual. Sin embargo, su implementación completa debe ser respaldada por un estudio financiero detallado, debido a los costos iniciales asociados. La incorporación selectiva de sus componentes se proyecta como una alternativa viable, menos invasiva y con menores tiempos de implementación.
3. **Formulación de Recomendaciones Técnicas (OE3):** Se propone a la planta considerar dos caminos de acción. El primero de ellos consiste en la implementación progresiva de componentes del filtro Ishigaki MCFGC-1500, comenzando por aquellos identificados como más críticos (placas, cabezales y compuertas), y en segundo lugar, el desarrollo de un plan integral de mantenimiento preventivo y predictivo que incluya monitoreo continuo, control de repuestos y capacitación operativa. Esta recomendación se basa en datos técnicos y operacionales levantados en planta, entrevistas y registros históricos.
4. **Consideraciones Finales:** Además de los aspectos técnicos, se observó que el uso de placas reparadas, la falta de stock de repuestos y el uso de componentes fuera de especificación han provocado un desgaste acelerado de telas y un aumento del 50% en su consumo durante el último año. Lo anterior refuerza la necesidad de modernizar la gestión del mantenimiento y asegurar la calidad de los insumos utilizados.

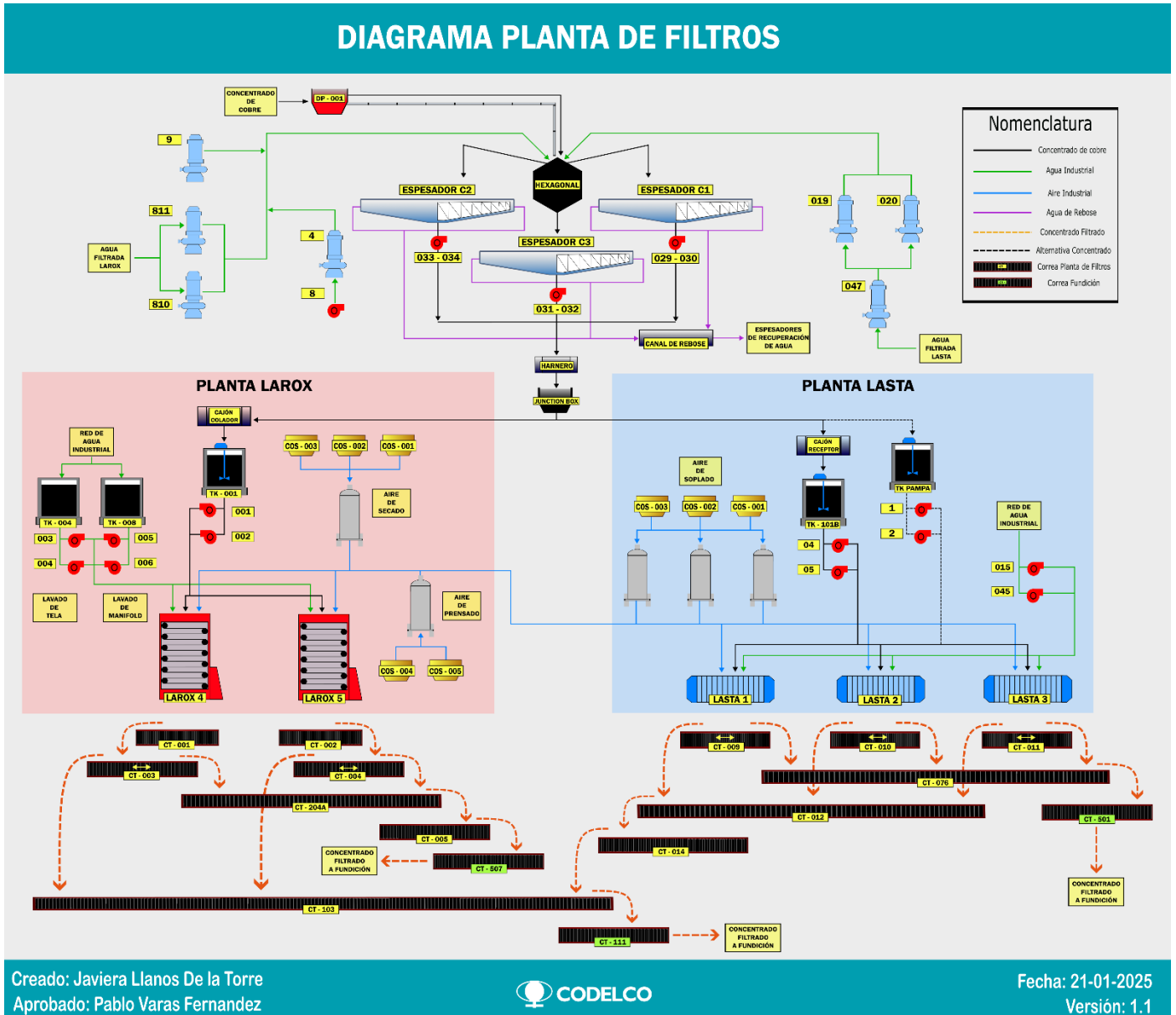
En síntesis, este estudio no solo permitió evidenciar las principales limitaciones del sistema actual, sino que también entregó una propuesta concreta y viable para optimizar el proceso de filtración, aportando a la eficiencia productiva y a la sostenibilidad operativa de la División Chuquicamata.

## 7. Bibliografía

- [1] International Copper Study Group ICSG. (2023) The World Copper Factbook. <https://icsg.org/copper-factbook/>
- [2] Corporación Nacional del Cobre. (Marzo 2024) Memoria Anual 2023 Codelco. <https://www.codelco.com/memorias>
- [3] Fränkle, B., Morsch, P., Nirschl, H. (2020) Regeneration assessments of filter fabrics of filter presses in the mining sector. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0892687521001515>
- [4] Consejo Minero. (Última actualización Julio 2024) Estadísticas de la industria minera en el mercado mundial y su importancia para el país. <https://consejominero.cl/mineria-en-chile/cifras-actualizadas-de-la-mineria/>
- [5] Ministerio de Minería, Comisión Chilena del Cobre. (2013) Minería en Chile: impacto en regiones y desafíos para su desarrollo. [https://www.cochilco.cl/Libros/Libro Minería en Chile Impacto en Regiones y Desafios para su Desarrollo.pdf](https://www.cochilco.cl/Libros/Libro_Mineria_en_Chile_Impacto_en_Regiones_y_Desafios_para_su_Desarrollo.pdf)
- [6] Comisión Chilena del Cobre. (2020) Consumo de agua en la minería del cobre al 2019. [https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/2020%2010%2030%20Consumo%20de%20agua%20en%20la%20mineria%20del%20cobre%20al%202019\\_version%20final.pdf](https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/2020%2010%2030%20Consumo%20de%20agua%20en%20la%20mineria%20del%20cobre%20al%202019_version%20final.pdf)
- [7] Corporación Nacional del Cobre. (2019) Memoria Anual 2019 Codelco. <https://www.codelco.com/memorias>
- [8] Micronics Engineered Filtration (S/F) Manual de instalación Filtro Prensa Lasta Ishigaki Company, LTD.

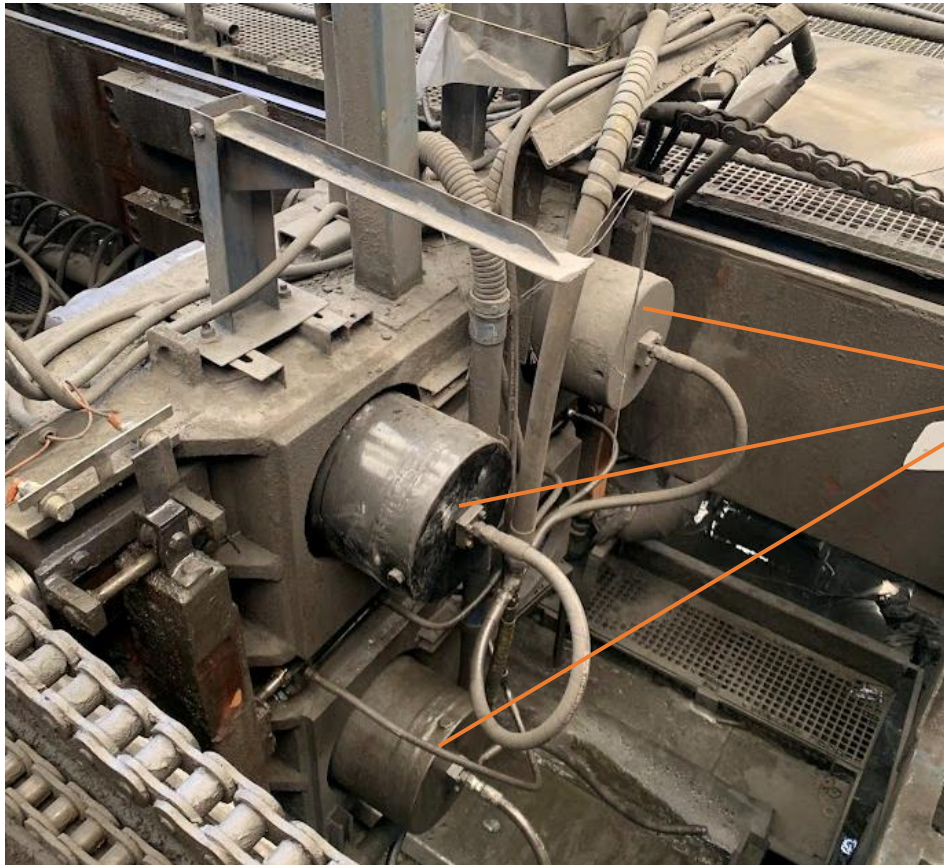
Anexos

Anexo 1: Diagrama Completo Planta de Filtrós.



Anexo 2: Cabezales Filtro Actual. a) Cabezal Espalda, b) Cabezal Frontal.

a)



Cilindros de Sellado

b)



Cilindros de Bloqueo

Anexo 3: a) Cadenas de Arrastre de Placas, b) Cadenas de Separación de Placas.

a)



Cadena de  
Arrastre de  
Placas

b)

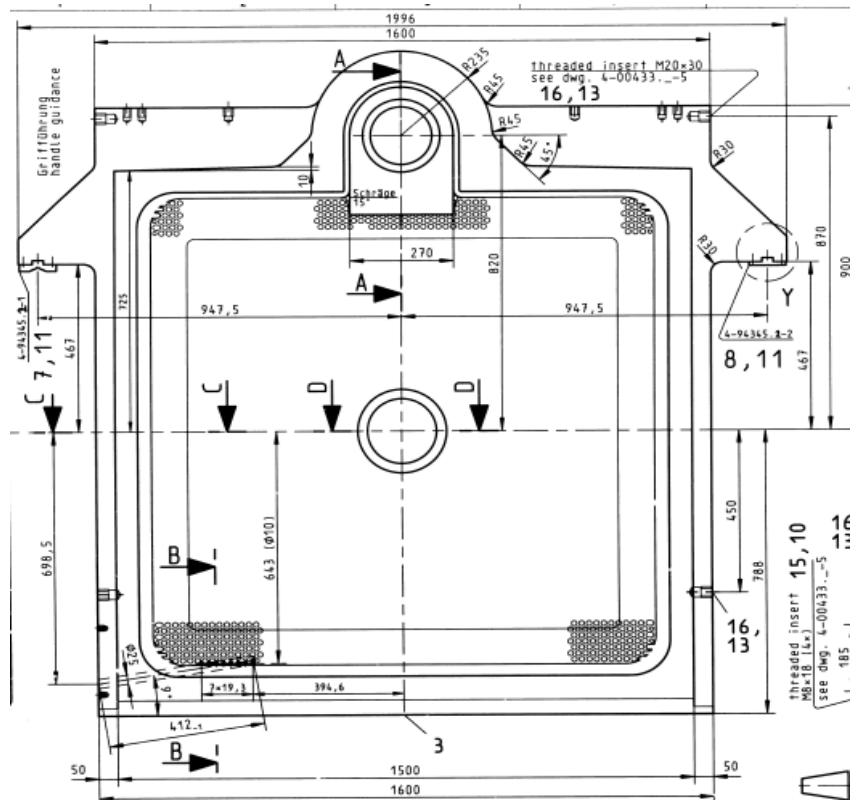


Cadena de  
Separación de  
Placas

Anexo 4: Compuertas Actuales.




Anexo 5: Plano de Placa actual.



Anexo 6: Fallas en Placas.



Anexo 7: INS008 Instructivo de reparación de Placas.

	SUPERINTENDENCIA MOLIBDENO FILTROS PLANTA DE FILTROS INSTRUCTIVO DE TRABAJO REPARACION DE PLACAS FILTROS LASTA	Código : INS.008.PFI
		Fecha : 07.07.2022
		Versión N° : 6
		Página : 1 de 5

	SUPERINTENDENCIA MOLIBDENO FILTROS PLANTA DE FILTROS INSTRUCTIVO DE TRABAJO REPARACION DE PLACAS FILTROS LASTA	Código : INS.008.PFI
		Fecha : 07.07.2022
		Versión N° : 6
		Página : 3 de 8

**INSTRUCTIVO REPARACION DE PLACAS FILTROS LASTA**


Tabla de Contenidos

1. Compromiso y responsabilidades
2. Documentación
3. Acciones previas a la actividad
4. Herramientas y materiales a utilizar
5. Descripción de la actividad
6. Control de riesgo

REALIZADO POR	CARGO	FIRMA	FECHA
Francisco Aosta R.	Jefe de Turno Operaciones		28/10/22
Oscar Fuentes D.	Jefe de Turno Operaciones		28-11-22
Eduardo Fuentealba C.	Jefe de Turno Operaciones		11/10/22
Bozidar Yañez Z.	Jefe de Turno Operaciones		22/10/22


REVISADO POR	CARGO	FIRMA	FECHA
Pablo Varas Fernández	Jefe de unidad Planta de Filtros		11/10/22

APROBADO POR	CARGO	FIRMA	FECHA
	Superintendente		

	SUPERINTENDENCIA MOLIBDENO FILTROS PLANTA DE FILTROS INSTRUCTIVO DE TRABAJO REPARACION DE PLACAS FILTROS LASTA	Código : INS.008.PFI
		Fecha : 07.07.2022
		Versión N° : 6
		Página : 4 de 5

5. DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD

- Cuando en la etapa de soplado existe una fuga de presión altamente sonora entre placas se identifica para luego revisar
- Una vez descargado el filtro, posterior a la apertura de placas y antes del lavado de telas, se procede al bloqueo del equipo: cubículos de terreno arrastre de placa y unidad hidráulica, válvula de alimentación V1 y válvula de cilindro de compuertas
- Una vez bloqueado el equipo y comprobado energía cero, un operador sube por las escaleras a la parte superior del filtro para el retiro de telas y otro operador sube por escaleras a la parte inferior del filtro ambos identifican si es: tela rota o placa en mal estado, una vez definido que se trata de una placa los operadores bajan del filtro para continuar con el proceso de reparación
- Se realiza el desbloqueo solo de arrastre y unidad hidráulica para el cierre de prensa, luego se desmontan las cadenas de separación de placa manualmente desde la placa a reparar más 9 placas hacia el costado, una vez las 4 cadenas desmontadas, y los operadores fuera del filtro se procede con la apertura de prensa.
- Una vez la prensa abierta nuevamente se bloquea los cubículos arrastre de placa y unidad hidráulica. El operador sube por las escaleras con las herramientas para la reparación, una vez la placa limpia y seca se procede a aplicar silicona con la pistola en el suro o parte dañada para luego emparejar y buscar la forma original
- Una vez finalizada la operación el operador baja del filtro por las escaleras con sus respectivas herramientas, se instalan las telas nuevas y se procede con el desbloqueo de los dos cubículos de terreno para luego cerrar la prensa, una vez cerrada nuevamente se bloquean los cubículos de terreno arrastre de placa y unidad hidráulica. Finalmente se procede a la instalación de las cadenas de separación de placas.
- Normalizadas las cadenas de separación de placas, se procede a desbloquear los cubículos de terreno arrastre de placa y unidad hidráulica, válvula de alimentación V1 válvula de cilindro de compuerta. Una vez normalizado y desbloqueado se coordina para comenzar con la operación del filtro.
- Si el problema persiste se deberá evaluar una segunda reparación, de lo contrario si se detectan daños severos, se debe coordinar el cambio de la placa con el personal de mantenimiento
- Cada vez que se bloques el equipo, este debe ser sometido a prueba de energía cero.

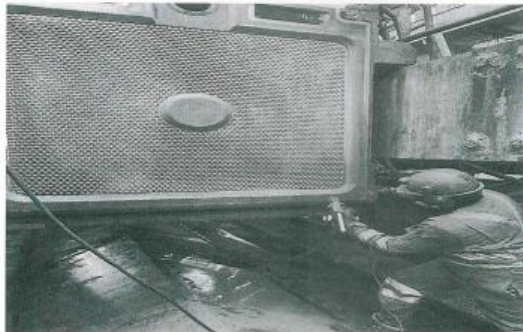
	SUPERINTENDENCIA MOLIBDENO FILTROS PLANTA DE FILTROS INSTRUCTIVO DE TRABAJO REPARACION DE PLACAS FILTROS LASTA	Código : INS.008.PFI
		Fecha : 07.07.2022
		Versión N° : 6
		Página : 8 de 8

6 Control de los riesgos.

Observar las siguientes instrucciones para el control de riesgos existentes en la ejecución de las actividades:

- Presentar aptitudes técnicas, físicas y psicológicas adecuadas (ECF5 – A.1)
- Tener evaluación de salud vigente y por lo tanto un certificado de aptitud (ECF5 – A.2)
- El personal responsable del uso de herramientas portátiles y manuales deberá estar entrenado y certificado en función del análisis de riesgos del equipo y/o herramienta (ECF5 – A.3).
- Los trabajadores deben asegurarse que las herramientas portátiles y manuales estén en buenas condiciones, de lo contrario no deben ser utilizadas (ECF5 – A.4).
- El personal que efectúe trabajos en equipo o maquinaria deberá ser instruido acerca de los peligros, los riesgos que se generen al remover y/o alterar las protecciones y/o resguardos (ECF8 – A.1).
- No usar elementos susceptibles de ser atrapados (por ejemplo ropas sueltas o deshilachadas, anillos, aretes, etc.) (ECF8 – A.2).
- Prohibido acercarse o exponerse a equipos o instalaciones sin resguardo ni protecciones (ECF8 – A.3)

Durante el proceso de reparación placas filtros Lasta se presentan riesgos asociados a la actividad.



Riesgos asociados a la actividad	Controles existentes y adicionales.
Contacto con liberación descontrolada de energías. Atrapamiento por equipo en movimiento. Caída de distinto nivel. Silicosis. Hipoacusis.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ECF: N°5 y N°8.</li> <li>• Riesgo Crítico: N°4, N°6, N°20 y N°22</li> <li>• Aptitud física y psicológica del personal.</li> <li>• Personal capacitado</li> <li>• Procedimiento, PRO-001.PFI, Recepción y Distribución de Concentrado de Cobre.</li> <li>• NEO 38, Plataformas y Pasillos Elevados barandas y aberturas en el piso.</li> <li>• NEO 44, Escaleras Fijas Industriales de acceso normal.</li> <li>• Use de tres puntos de apoyo en escaleras.</li> <li>• Uso de ART.</li> <li>• Uso correcto de EPP.</li> </ul>

Anexo 8: INS004 Cambio de Telas y Empaquetaduras Filtros Lasta.

Gerencia: GCON  
 St: Karla Fuentes Silva  
 Área: Planta de Filtros

### INS004 – Cambio de telas y empaquetadura filtros lasta

**Objetivo**  
 Establecer la forma correcta y segura de realizar el cambio de telas de los filtros lasta y empaquetaduras. Aplica a todo el personal de operaciones de la Planta de Filtros.

**Responsable Instructivo:** Jefe de Unidad  
**Responsable de la Actividad:** Operador Mayor Planta Filtros  
**Responsable Ejecución:** Operadores Planta Filtros

**Riesgos críticos**

<b>RC02</b> Pérdida de equilibrio trabajo en altura física.	<b>RC04</b> Pérdida de Control de Energía hidráulica y neumática a alta presión.	<b>RC06</b> Pérdida de control de variables del fuego.
<b>RC09</b> Interacciones con partes móviles.	<b>RC20</b> Pérdida de Control de fuentes de Emisión de polvo y Sílice.	<b>RC22</b> Pérdida de control de estructuras para tránsito y uso de personas.

- Filtros Lasta:** Filtro de prensa horizontal de tipo placas. Mediante un proceso de filtración a presión permite reducir la humedad del concentrado hasta obtener cobre fino.
- Telas:** Son de un material poroso que permite la filtración de sólido y líquido, permitiendo solo el paso del líquido.
- Empaquetadura:** Componente utilizado para sellar las juntas y uniones en las telas, de esta forma se evitan las fugas de concentrado.

Creado: Rodrigo López Valle  
 Modificado: Javiera Llanos De la Torre  
 Aprobado: Pablo Varas Fernández

Fecha: 12-08-24  
 Versión 1.0

Gerencia: GCON  
 St: Karla Fuentes Silva  
 Área: Planta de Filtros

### INS004 – Cambio de telas y empaquetadura filtros lasta

#### Secuencia 1: Preparativos al Inicio de la actividad

**Elemento 1: Equipamiento de personal encargado**

<b>Descripción:</b> El operador de planta deberá equiparse obligatoriamente con sus Elementos de Protección Personal antes de realizar la actividad. EPP a utilizar: Casco, zapatos de seguridad, lentes claros, guantes antigolpes, respirador, gogolo, protección auditiva y arnés de seguridad de dos colas (Realizar CHL002- Check list arnés de seguridad)	<b>Tipo:</b> Seguridad <b>Tiempo:</b> 5 (min) <b>Rol:</b> Operador Planta Filtros	<b>Punto Clave:</b> Equipo de protección personal. <b>Objetivo Punto Clave:</b> Salvaguardar la integridad del trabajador que realizará la tarea	
---	---	---	--

#### Secuencia 2: Inspección de Filtro Lasta

**Elemento 2.1: Inspección**

<b>Descripción:</b> El operador deberá inspeccionar con linterna entre las telas mientras el equipo se encuentra en funcionamiento para lograr detectar las telas y/o empaquetaduras que necesitan ser reemplazadas o reparadas. La inspección debe realizarse por fuera del equipo (Zona de Tránsito).	<b>Tipo:</b> Equipo <b>Tiempo:</b> 10 (min) <b>Rol:</b> Operador Planta Filtros	<b>Punto Clave:</b> Verificar telas o empaquetaduras en mal estado. <b>Objetivo Punto Clave:</b> Determinar si es necesario el cambio de alguna tela o empaquetadura.	
---	---	--	--

**Elemento 2.2: Detener Filtro**

<b>Descripción:</b> El operador deberá detener con parada de emergencia, después de que el filtro lasta termine el ciclo con la descarga, pero antes del lavado de telas.	<b>Tipo:</b> Equipo <b>Tiempo:</b> 5 (min) <b>Rol:</b> Operador Planta Filtros	<b>Punto Clave:</b> Detención del equipo. <b>Objetivo Punto Clave:</b> Tener a disposición el equipo para poder intervenir.	
---	--	--	--

**Elemento 2.2: Bloqueo**

<b>Descripción:</b> Realizar bloqueo con candado y tarjeta de identificación, en los dos cubículos eléctricos de terreno (arriastre de placas y unidad hidráulica), reportando a todos los operadores y comprobar energía cero.	<b>Tipo:</b> Equipo <b>Tiempo:</b> 5 (min) <b>Rol:</b> Operador Planta Filtros	<b>Punto Clave:</b> Des-energización del equipo. <b>Objetivo Punto Clave:</b> Dar a conocer el bloqueo y prevenir activaciones durante la actividad.	
---	--	---	--

Creado: Rodrigo López Valle  
 Modificado: Javiera Llanos De la Torre  
 Aprobado: Pablo Varas Fernández

Fecha: 12-08-24  
 Versión 1.0

Gerencia: GCON  
 St: Karla Fuentes Silva  
 Área: Planta de Filtros

### INS004 – Cambio de telas y empaquetadura filtros lasta

#### Secuencia 3: Cambio de Telas

**Elemento 3.1: Seguridad para realizar cambio de telas**

<b>Descripción:</b> El operador debe acceder al filtro mediante escalera utilizando los 3 puntos de apoyo, anclarse en primera instancia al punto de anclaje del portal, para luego acceder al filtro y anclarse a la cuerda de vida instalada en cada filtro. Una vez anclado, operador procede a transitar por el filtro para realizar la actividad.	<b>Tipo:</b> Equipo <b>Tiempo:</b> 10 (min) <b>Rol:</b> Operador Planta Filtros	<b>Punto Clave:</b> Seguridad del operador. <b>Objetivo Punto Clave:</b> Poder ponerse en posición para realizar cambio de tela.	
--	---	---	--

**Elemento 3.2: Retiro de tela**

<b>Descripción:</b> Se retira la tela ya identificada, se deja en el pasillo que se encuentra al costado del filtro y se revisa la empaquetadura de la placa para proceder con el cambio si fuese necesario.	<b>Tipo:</b> Equipo <b>Tiempo:</b> 10 (min) <b>Rol:</b> Operador Planta Filtros	<b>Punto Clave:</b> Retiro de tela en mal estado. <b>Objetivo Punto Clave:</b> Poder cambiar la tela para continuidad operacional.	
--	---	---	--

**Elemento 3.3: Cambio de tela**

<b>Descripción:</b> Operador debe verificar el correcto armado de la tela nueva (lado cámara liso, lado placa calandrida), una vez posea la tela nueva, procede a realizar el cambio.	<b>Tipo:</b> Equipo <b>Tiempo:</b> 10 (min) <b>Rol:</b> Operador Planta Filtros	<b>Punto Clave:</b> Instalar tela nueva. <b>Objetivo Punto Clave:</b> Finalizar cambio de tela para operar filtro.	
---	---	---	--

#### Secuencia 4: Normalización del equipo

**Elemento 4: Continuar operando equipo**

<b>Descripción:</b> El operador deberá dirigirse al centro del filtro (donde está la escalera) para cambiar el punto de anclaje al del portal, y proceder con el descenso por la escalera. Finalmente procede al desbloqueo para continuar operando el filtro, reiniciando la operación con comando partir ciclo.	<b>Tipo:</b> Equipo <b>Tiempo:</b> 15 (min) <b>Rol:</b> Operador Planta Filtros	<b>Punto Clave:</b> Normalización del filtro. <b>Objetivo Punto Clave:</b> Desbloqueo y puesta en marcha del filtro.	
---	---	---	--

Creado: Rodrigo López Valle  
 Modificado: Javiera Llanos De la Torre  
 Aprobado: Pablo Varas Fernández

Fecha: 12-08-24  
 Versión 1.0

Anexo 9: Restos de Concentrado en Tela debido a Lavado Insuficiente.

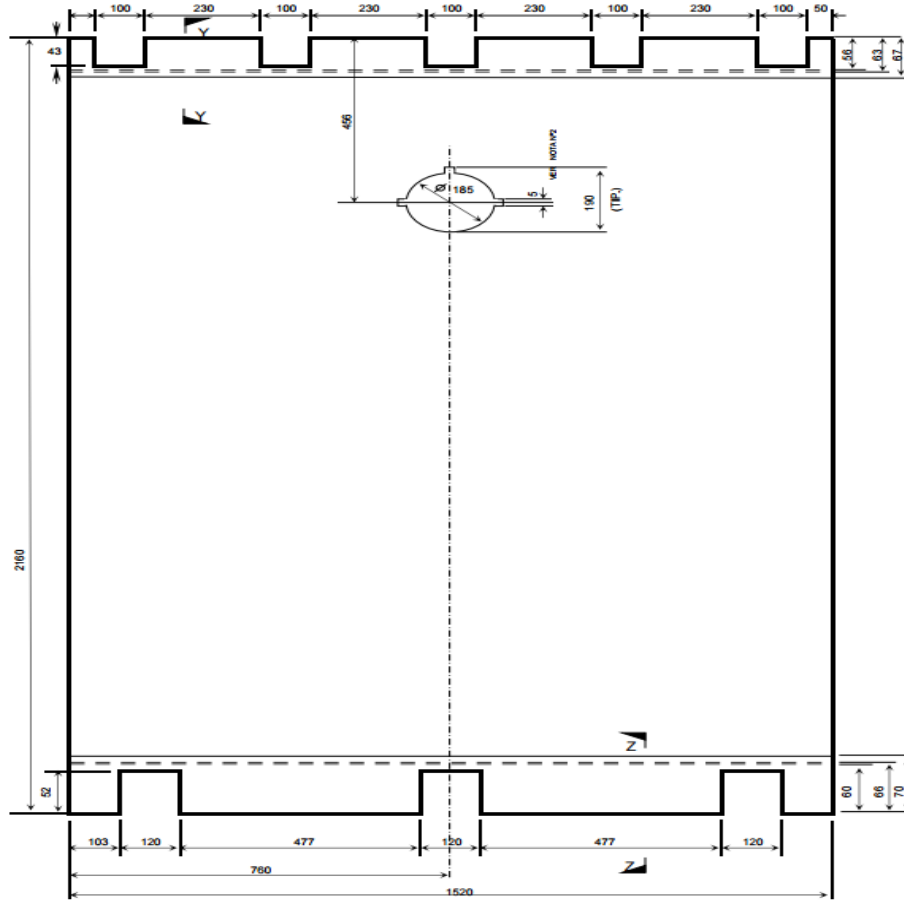


Anexo 10: Impacto de Carga sobre Compuertas.

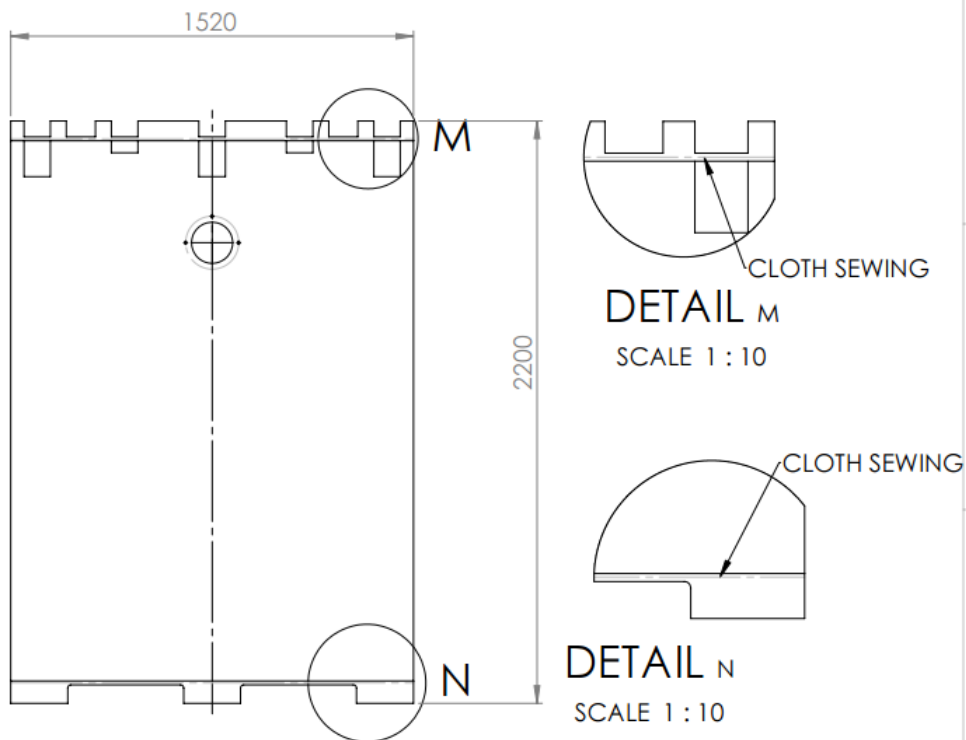


Anexo 11: a) Plano tela Actual y b) Tela Ishigaki.

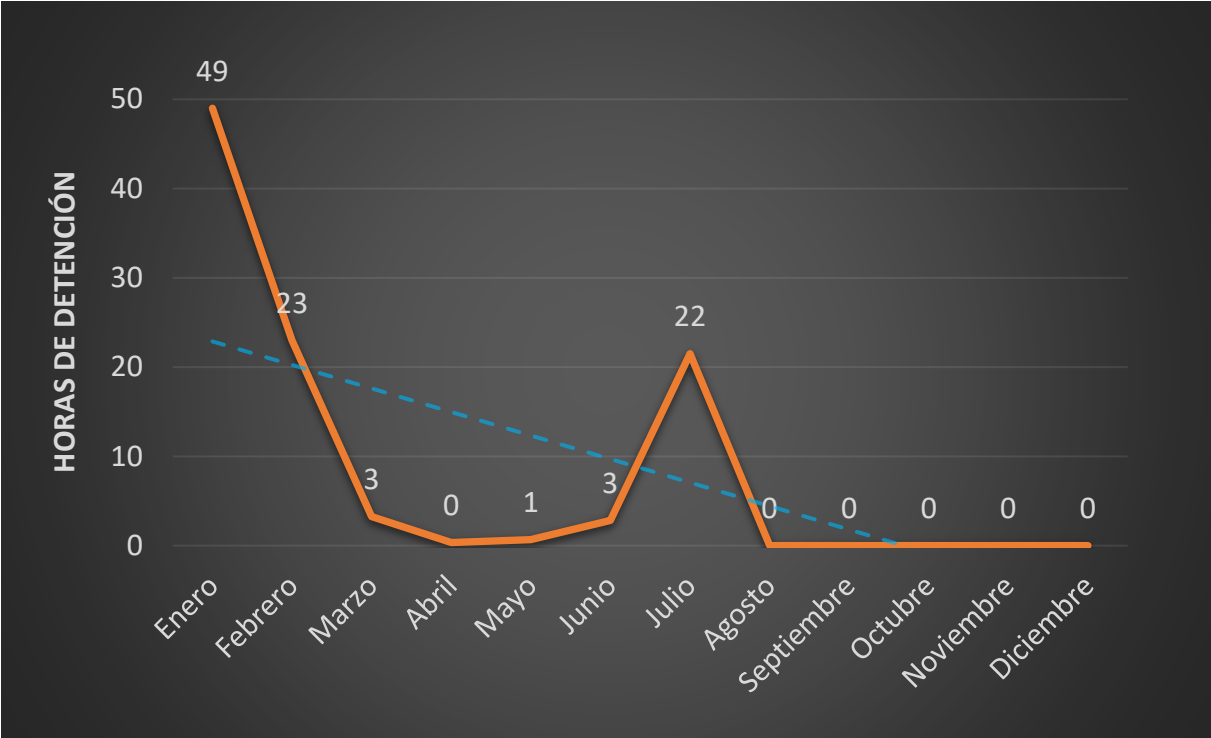
a)



b)



Anexo 12: Grafico de Horas de Detención debido a Fallas en los Cilindros de Sellado del Lasta 1 en 2024.



Anexo 13: Diagrama de Cintas Transportadoras Planta de Filtrros.

