

UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD TECNOLÓGICA

SEDE VALLENAR

GUÍA INTEGRAL PARA LA COMPRENSIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE FILTRADO DE PRENSA EN LA PLANTA CMP

Trabajo presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de Técnico universitario en minas.

Profesor guía: Enrique Veragua Guerra

Belén Bórquez Farías

Martina García Aránguiz

Jeshua Rubina Cosmelli

Vallenar, Chile 2024

Dedicatorias

Martina García

Mis padres, Raúl y Sylvana, son el mayor regalo que la vida me ha dado. Papá, gracias por enseñarme con tu ejemplo el valor del esfuerzo y la perseverancia. Mamá, gracias por ser mi refugio en los momentos difíciles y mi mayor apoyo en cada paso de este proceso. Su amor incondicional y su fe en mí son la base de todo lo que he logrado. Este logro es también suyo, y espero que se sientan tan orgullosos de mí como yo lo estoy de ustedes. Los amo con todo mi corazón.

A mis hermanos, Monserrat, Matilda y Martín, gracias por ser mi constante fuente de alegría y energía. Sus risas, bromas y compañía han sido mi escape en los días más difíciles, y no hay palabras para agradecerles todo lo que han hecho por mí.

Mis queridas abuelas, Daisy y Fresia, ocupan un lugar especial en mi corazón. Su amor, sabiduría y apoyo incondicional han sido una inspiración constante en mi vida. Les agradezco profundamente todo lo que me han dado y el impacto que han tenido en mi camino.

A mis queridos compañeros peludos, mis gatitos, gracias por su compañía incondicional en tantas jornadas de estudio. Un agradecimiento especial a mi amado Luffy, quien me acompañó desde el inicio de este camino pero que lamentablemente no pudo estar hasta el final.

A mis amigas Fabiola, Francisca y Antonia, ustedes son mucho más que mis amigas; son mis hermanas de otras madres. Gracias por su apoyo incondicional, por sus palabras de aliento y por estar a mi lado cuando más las necesitaba. Su amor y compañía hicieron que este proceso fuera mucho más llevadero.

A mi amigo Pablo, gracias por ser un apoyo constante en este camino. Tu amistad ha sido invaluable y siempre recordaré el impacto que tu presencia tuvo en este proceso.

A mi mejor amiga, Ignacia, gracias por ser mi compañera de vida y mi “partner in crime”. Tu apoyo constante, tus palabras llenas de cariño y tu forma de animarme siempre me dieron la fuerza para seguir adelante. Estoy profundamente agradecida de tenerte en mi vida.

A mis amigos de la universidad, Jeshua y Belén, gracias por ser parte de mi vida y por su apoyo incondicional en esta etapa. Nunca me cansaré de agradecerles por su amistad.

Finalmente, a mis profesores, quienes me guiaron con su sabiduría y paciencia a lo largo de esta etapa. En especial al profesor Ignacio, por sus consejos y apoyo, incluso en los momentos en los que no lo notaba.

Gracias a todos los que formaron parte de esta etapa de mi vida.

Jeshua Rubina

A mis padres, cuya sombra me ha acompañado a lo largo de este camino, enseñándome que la absurdidad de la existencia se enfrenta mejor con el calor de un hogar. A mi hermano, cómplice en esta odisea, con quien he compartido risas y silencios, alegrías y desilusiones. A mi hija, faro en la noche, cuya sonrisa ilumina mi sendero de cada día. A mis amigos, compañeros de viaje en esta nave sin rumbo, con quienes he compartido y experimentado la Camaradería. A mis profesores, quienes me han guiado a través del laberinto del conocimiento, mostrándome que la razón no es más que una débil luz en la oscuridad. A mis compañeras de tesis, cómplices en esta aventura intelectual, con quienes he compartido dudas y certezas, fracasos y triunfos. A todos vosotros, mi gratitud. Porque en un mundo como este, la solidaridad y el afecto son los únicos reductos de sentido.

Belén Bórquez

A mis amados abuelitos, que han estado presente en todo momento velando por mi felicidad, cuyo apoyo incondicional y amor han sido la fuente de mi motivación para seguir adelante.
Gracias, por todo, siempre.

A mis queridos amigos y compañeros de equipo, Martina y Jeshua. Su amistad y compañerismo fueron fundamentales en este camino académico y personal. Las risas nunca faltaron.

Índice de contenido

Resumen..... 9
Abstract..... 10
CAPÍTULO I..... 11
1.1 Introducción..... 12
1.2 Objetivo General..... 13
1.3 Objetivos Específicos..... 13
1.4 Planteamiento del problema..... 13
1.5 Justificación..... 14
1.6 Alcance..... 14
CAPÍTULO II Marco Teórico..... 15
2.1 CMP y la implementación de los filtros de premsa..... 15
2.2 Filtro de prensa..... 17
2.3 Datos y características del equipo..... 17
2.3.1. Bastidor o estructura..... 18
2.3.2. Placas filtrantes..... 18
2.3.3. Telas filtrantes..... 18
2.3.4. Sistema de alimentación..... 19
2.3.5. Colector de filtrado..... 19
2.3.6. Platos móviles..... 19
2.3.7. Sistema de cierre y apertura..... 19
2.3.8. Sistema de soplado de aire..... 19
2.3.9. Sistema de descarga de tortas..... 19
2.3.10. Sistema de lavado de telas..... 20
2.3.11. Bandeja de goteo..... 20
2.4 Antecedentes internacionales..... 20
2.5 Ideas, principios y conceptos fundamentales..... 21
2.5.1. Diseño del Filtro de Prensa y su Relevancia..... 21
2.5.2. Principio de Separación en el Filtro de Prensa..... 21
2.5.3. Separación Sólido-Líquido en los Filtros de Prensa..... 21
2.5.4. Impacto de la Presión en la Eficiencia..... 21
2.5.5. Variables Operativas..... 21
2.5.6. Ciclo de Filtración..... 22
2.5.7. Eficiencia de Filtración..... 22
2.5.8. Control de Parámetros..... 22
2.5.9. Manejo de Lodos..... 22
2.5.10. Modelos de Sostenibilidad Minera..... 22
CAPÍTULO III Metodología..... 23

3.1 Tipo de investigación....23
3.3 Instrumentos de recolección de datos....24
3.3.1. Análisis de documentos....24
3.3.2. Análisis de contenido audiovisual....25
3.3.3. Análisis de fuentes periodísticas....25
3.4.1. Información Restringida....25
3.4.2. Variabilidad en las Fuentes de Datos....26
3.4.3. Enfoque No-Experimental....26
3.4.4. Temporalidad de los Datos....26
3.6 Documentación del proceso de filtrado de prensa de planta CMP....26
3.7 Elaboración de esquema de ciclo de filtrado....27
3.8 Análisis comparativo de parámetros operativos en filtros de prensa....28
CAPÍTULO IV Presentación y análisis de resultados....30
4.1 Documentación del proceso de filtrado....30
4.1.1. Llenado....30
4.1.2. Compactación....30
4.1.3. Lavado de torta....30
4.1.4. Estrujadura....30
4.1.5. Soplado....30
4.1.6. Limpieza con agua a alta presión....31
4.1.7. Vaciado de membranas....31
4.1.8. Apertura y descarga de torta....31
4.1.9. Inspección y mantenimiento....31
4.1.10. Lavado a baja presión....31
4.1.11. Lavado a alta presión....31
4.2 Esquema gráfico del ciclo de filtrado....32
4.3 Análisis comparativo de parámetros operativos en planta CMP....33
CAPÍTULO V Conclusión....45
Bibliografía....46
Anexos....47

Índice de figuras

Figura N°1 Producción y reservas en Chile.....11
Figura N°2 Producción de hierro de mina en Chile y el mundo.....11
Figura N°3. Filtro de prensa de viga superior. Diemme Filtration, s.f.....15
Figura N°4 Gráfico de barras combinado correspondiente al filtro 1 del mes de julio....25
Figura N°5 Gráfico de barras combinado correspondiente al filtro 2 del mes de julio...26
Figura N°6 Gráfico de barras combinado correspondiente al filtro 3 del mes de julio...28
Figura N°7 Gráfico de barras combinado correspondiente al filtro 1 del mes de agosto.30
Figura N°8 Gráfico de barras combinado correspondiente al filtro 2 del mes de agosto.31
Figura N°9 Gráfico de barras combinado correspondiente al filtro 3 del mes de agosto.33
Figura N°10 Esquema de ciclo del proceso de filtrado mediante filtro de prensa..... 34

Resumen

En las últimas décadas, Huasco ha sufrido graves impactos ambientales debido a la minería, especialmente por el vertido de relaves al mar, lo que ha llevado a la zona a ser considerada una "zona de sacrificio". Esto ha impulsado cambios en las normativas ambientales y la adopción de tecnologías como los filtros de prensa para gestionar los relaves y reducir la contaminación.

El objetivo de este estudio fue analizar el sistema de filtrado de prensa de la Compañía Minera del Pacífico, desarrollando una guía integral que describiera el proceso y sus beneficios. Además, se buscó documentar el proceso, analizar los parámetros operativos y crear un esquema visual detallado del sistema de filtrado.

El análisis, basado en datos de los meses de julio y agosto de 2024, evaluó parámetros operativos como humedad, sólidos y espesor de tres filtros en funcionamiento. Los datos fueron graficados para identificar tendencias y optimizar el proceso. También se desarrolló un esquema gráfico del ciclo de filtrado para facilitar la comprensión del proceso.

Los resultados evidenciaron que los filtros operaron de manera estable con variaciones mínimas en los parámetros de humedad, sólidos y espesor. Las fluctuaciones en la humedad observadas en algunos días no indicaron problemas significativos, aunque podrían estar relacionadas con ajustes operativos. En cuanto al espesor, se detectaron algunas fluctuaciones más notorias en el Filtro 3, específicamente en julio y agosto, debido a incrementos en la humedad.

En conclusión, el estudio resalta la importancia de los filtros de prensa en la Compañía Minera del Pacífico como una solución eficaz para mitigar los impactos ambientales de la actividad minera en Huasco. Se demuestra que el sistema de filtrado es eficiente, con variaciones mínimas en los parámetros operativos, y su uso contribuye a la gestión adecuada de los relaves y la reducción de la contaminación.

PALABRAS CLAVES: RELAVES - CONTAMINACIÓN - FILTROS DE PRENSA - IMPACTO AMBIENTAL - REUTILIZACIÓN DE RECURSOS.

Abstract

In recent decades, Huasco has suffered severe environmental impacts due to mining, particularly from the disposal of tailings into the sea, which has led the area to be considered a "sacrifice zone." This situation has driven changes in environmental regulations and the adoption of technologies such as filter presses to manage tailings and reduce pollution.

The aim of this study was to analyze the filter press system of the Compañía Minera del Pacífico, developing a comprehensive guide that described the process and its benefits. Additionally, the study sought to document the process, analyze operational parameters, and create a detailed visual diagram of the filtration system.

The analysis, based on data from July and August 2024, evaluated operational parameters such as humidity, solids, and thickness from three functioning filters. The data were graphed to identify trends and optimize the process. A graphical diagram of the filtration cycle was also developed to aid in understanding the process.

The results showed that the filters operated stably, with minimal variations in humidity, solids, and thickness. Fluctuations in humidity observed on some days did not indicate significant issues, although they might be related to operational adjustments. As for the thickness, some more noticeable fluctuations were detected in Filter 3, particularly in July and August, due to increases in humidity.

In conclusion, the study highlights the importance of the filter presses at Compañía Minera del Pacífico as an effective solution to mitigate the environmental impacts of mining activities in Huasco. It demonstrates that the filtration system is efficient, with minimal variations in operational parameters, and its use contributes to the proper management of tailings and pollution reduction.

KEYWORDS: TAILINGS - POLLUTION - FILTER PRESSES - ENVIRONMENTAL IMPACT - RESOURCE REUSE

CAPÍTULO I

1.1 Introducción

En las últimas décadas, la localidad de Huasco ha sufrido un impacto ambiental considerable debido a las actividades mineras, especialmente por la disposición de relaves en el mar. “La comuna de Huasco es considerada una de las «zonas de sacrificio» de Chile, debido a la contaminación producida desde la instalación de una planta de pellets (CAP) en 1978 y de la central termoeléctrica de cinco unidades Guacolda (ex AES Gener) en 1995 (*Relaves*, 2023). Al mismo tiempo, la región ha experimentado una transformación en las normativas ambientales y la relación entre las empresas mineras y la comunidad local. En este contexto, surge un nuevo marco regulatorio, impulsado por las presiones sociales y la necesidad de detener la contaminación, lo que llevó a la implementación de los conocidos filtros de prensa como solución tecnológica para la gestión de relaves.

En este sentido, desde un punto de vista técnico y ambiental, la correcta gestión de los relaves mineros ha cobrado una gran relevancia. Este tema no sólo es de interés académico, sino que también abarca aspectos operacionales dentro de la gestión minera moderna y las exigencias regulatorias que buscan minimizar el impacto ambiental.

De acuerdo a lo anteriormente señalado, el presente estudio tiene como objetivo aportar un análisis a la actual implementación del sistema de filtrado de prensa en CMP. Esto se llevará a cabo mediante una guía integral que abarca todo el proceso, desde la disposición del material filtrado hasta su transporte y deposición final en los botaderos, con especial énfasis en los beneficios y desafíos de este método frente a las prácticas antiguas.

1.2 Objetivo General

Realizar una guía integral que facilite la comprensión y optimización del proceso de filtrado de prensa en la planta de CMP.

1.3 Objetivos Específicos

1. Documentar el proceso completo de filtrado de prensa en la planta de CMP, desde la recepción del material hasta la disposición final, para obtener una visión detallada del proceso.
2. Elaborar un esquema que represente visualmente el proceso de filtrado para proporcionar una representación visual del sistema, facilitando la comprensión.
3. Analizar y comparar los parámetros operativos del filtro de prensa utilizado en CMP, con el fin de comprender el proceso.

1.4 Planteamiento del problema

Debido al contexto sociocultural y medioambiental de la localidad de Huasco, es imperativo garantizar una capacitación integral y previa del personal encargado del uso de los filtros de prensa. Esta medida tiene como objetivo reducir los posibles impactos ambientales adversos en la zona, protegiendo tanto la flora y fauna como a los habitantes locales. Además, resulta esencial prevenir que la empresa incurra en sanciones económicas debido al incumplimiento de las normativas medioambientales, lo cual podría desencadenar en multas significativas e incluso la clausura de las operaciones.

1.5 Justificación

La implementación de una guía integral sobre el filtrado de prensa en la planta CMP de Huasco es estratégica para impulsar la innovación y la mejora continua dentro de los procesos productivos. Al documentar las prácticas y establecer una línea base, esta guía permitirá:

- ➔ Mejora continua: La guía sirve como punto de partida para evaluar y mejorar continuamente los procesos de filtrado, optimizando la eficiencia y reduciendo los costos.
- ➔ Capacitación del personal: La guía es una herramienta valiosa para capacitar al personal involucrado en el proceso, asegurando la estandarización de las prácticas y la prevención de errores.
- ➔ Apoyo a la toma de decisiones: La guía puede servir como base para la toma de decisiones futuras en materia de inversión y mejora de procesos.

1.6 Alcance

El presente trabajo de investigación va dirigido a todas las empresas, instituciones y/o profesionales que busquen profundizar sus conocimientos y comprender mejor la aplicación de los filtros de prensa en los diversos sectores industriales, con especial enfoque en el área minera. Este estudio presenta un análisis técnico de los filtros de prensa, detallando sus componentes y sus principios de funcionamiento.

CAPÍTULO II Marco Teórico

2.1 CMP y la implementación de los filtros de premsa

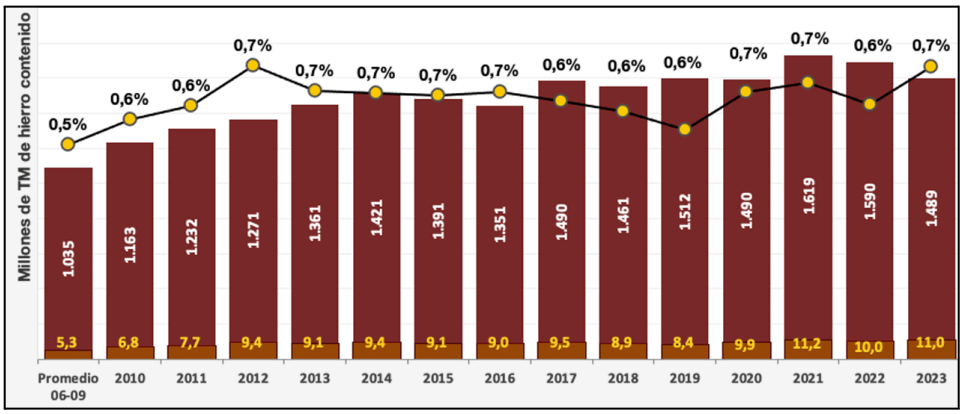
Fundada en 1950, la Compañía Minera del Pacífico (CMP) es una de las empresas más influyentes del sector siderúrgico y minero en Chile. A lo largo de los años, "CMP se ha consolidado como el principal productor de minerales de hierro en toda la costa oeste de América y como el más importante procesador de acero del país" (Rodriguez, 2021) con gran influencia en mercados asiáticos de alto consumo, como China y Japón. De esta manera, Chile se posiciona en el puesto número 15 del ranking en la producción mundial, como se muestra en la tabla N°1, debido a que su producción se ha mantenido sobre el 0,5 % de toneladas métricas de hierro a nivel global, según el gráfico 1.

Figura N°1 Producción y reservas en Chile

Tipo de Mineral	Producción en Chile en Toneladas Métricas (1)	Participación en la producción mina mundial	Ranking en la producción mundial	Participación en reservas mundiales
Cobre	5.251 miles TM	24%	1	19%
Oro	37 TM	1%	>15	7%
Plata	1.378 TM	5%	7	4%
Molibdeno	44.118 TM	17%	2	9%
Hierro	11 millones TM	0,7%	>15	n.d.

(Consejo minero, 2024)

Figura N°2 Producción de hierro de mina en Chile y el mundo



(Consejo minero, 2024)

En la actualidad, CMP opera en múltiples locaciones a lo largo de la costa chilena incluyendo minas hasta instalaciones de procesamiento y puertos, lo que le ha facilitado la conservación de una cadena productiva unificada. Su enfoque no solo se limita a la producción, sino que también incluye la implementación de prácticas sostenibles, que buscan minimizar el impacto ambiental dentro de sus actividades.

En este contexto, la empresa ha adoptado tecnologías innovadoras y soluciones medioambientales, como el uso de filtros de prensa para la gestión eficiente de relaves y la correcta recuperación hídrica, según Andreoli (2022) esta es "una tecnología que permite depositar un sólido con menos de 20% de contenido de agua", contribuyendo así al cumplimiento de normativas ambientales nacionales.

El enfoque sostenible de este proceso se refleja en todas las etapas de la minería, comenzando con la concentración del mineral. Inicialmente, el material extraído se somete a trituración y molienda para reducirlo a una pulpa fina, lo que permite liberar los minerales valiosos contenidos en la roca. Esta pulpa se clasifica por tamaño mediante ciclones o tamices, asegurando que las partículas estén listas para las etapas posteriores. En la etapa de separación, se emplean técnicas como flotación, gravimetría y concentración magnética para diferenciar los minerales valiosos de las impurezas.

Una vez obtenido el concentrado, el filtrado de prensa se convierte en una etapa clave, ya que facilita la separación sólido-líquido. Este proceso consiste en bombear la pulpa concentrada hacia una prensa, que puede operar por presión (placas verticales) o vacío (filtros de banda). En este caso de estudio, se analiza la opción de presión, en la cual se aplica una fuerza elevada para extraer el líquido residual. Este método permite obtener un concentrado con un menor contenido de agua y una mayor densidad de sólidos, logrando así "una mayor recuperación de agua en comparación con la deposición convencional y el espesamiento de relaves" (Capone, 2016). Además, la reducción de humedad facilita el transporte del concentrado y mejora la eficiencia del proceso general.

2.2 Filtro de prensa

Los filtros de prensa son equipos esenciales en la actual industria minera para la deshidratación de lodos y pulpas. Se emplean tras la sedimentación del material en un tanque clarificador o espesador, y su función principal es recuperar la mayor parte del agua contenida en los residuos. En el caso de la Compañía Minera del Pacífico (CMP), el filtro de prensa juega un papel clave en el manejo y disposición de los relaves generados en el proceso de beneficio de minerales, como el hierro. Asimismo, su importancia no sólo comprende el territorio nacional, sino que es uno de los más relevantes a nivel global "las alternativas de filtrado más usadas en relaves en Chile y el mundo, corresponden a filtrado de banda y filtrado de prensa con placas verticales" (Capone, 2016)

El funcionamiento del filtro de prensa en CMP se basa en la aplicación de alta presión a una pulpa con sólidos en suspensión, que se alimenta a través de dos bombas. La pulpa pasa a través de una serie de placas cubiertas por telas filtrantes, las cuales retienen los sólidos, mientras que el líquido es evacuado. A medida que la filtración avanza, el contenido de sólidos en la pulpa aumenta, formando una torta compacta en las placas. Este proceso es clave para reducir el volumen de los relaves y recuperar el agua utilizada, que luego puede ser recirculada en el sistema, promoviendo una operación más eficiente y sostenible.

2.3 Datos y características del equipo

Los equipos empleados en la planta CMP consisten en tres filtros de prensa de viga superior del modelo GHT 4X4, tipo 1500. Cada uno de estos filtros está configurado con un total de 84 casillas (placas). En cuanto a su operatividad, el filtro número 1 y el filtro número 3 operan a una velocidad de alimentación del 89%, mientras que el filtro número 2 trabaja a una velocidad de alimentación del 58%. Esta configuración y los distintos rangos de velocidad de alimentación permiten optimizar el proceso de filtrado según las necesidades específicas de cada equipo y las condiciones operativas de la planta.

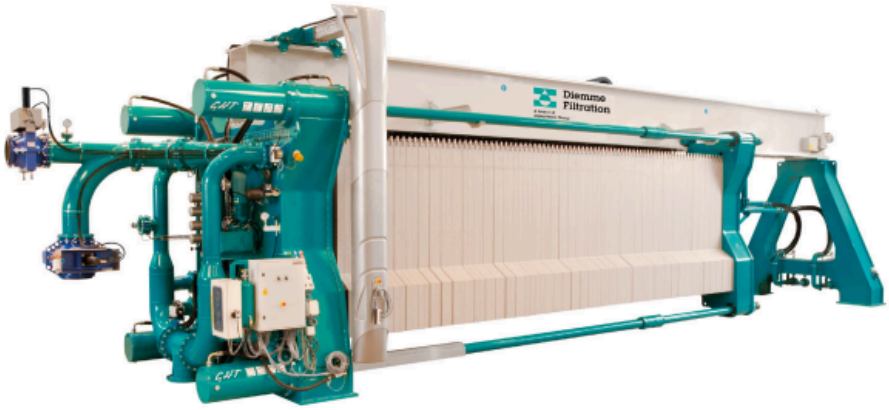


Figura N°3. *Filtro de prensa de viga superior.* Diemme Filtration, s.f.

2.3.1. Bastidor o estructura

Es la parte que soporta el peso del filtro y todos sus componentes. El bastidor está formado por columnas o largueros que sostienen las placas en posición vertical.

2.3.2. Placas filtrantes

Son las piezas principales donde ocurre el proceso de filtración. Estas placas, generalmente hechas de materiales como polipropileno o acero inoxidable, se colocan en posición vertical y forman cámaras entre ellas. Cada placa está cubierta por telas filtrantes que permiten el paso del líquido pero retienen los sólidos.

2.3.3. Telas filtrantes

Son las membranas que recubren cada placa. Su función es retener las partículas sólidas de la pulpa mientras el líquido pasa a través de ellas. Están fabricadas en materiales resistentes a la abrasión y a las condiciones químicas del proceso, como poliéster, poliamida o polipropileno.

2.3.4. Sistema de alimentación

Este sistema se encarga de introducir la pulpa a filtrar entre las placas. Puede estar compuesto por bombas centrífugas, de pistón o de membrana, dependiendo de la presión requerida.

2.3.5. Colector de filtrado

Se encarga de recoger el líquido filtrado (filtrado) que pasa a través de las telas filtrantes. Este líquido es evacuado a través de tuberías o canales a un depósito de almacenamiento o para ser recirculado en el proceso.

2.3.6. Platos móviles

Permiten el desplazamiento de las placas para abrir y cerrar el filtro de prensa. Cuando las placas están juntas, forman las cámaras de filtración; cuando se separan, permiten la descarga de las tortas filtrantes.

2.3.7. Sistema de cierre y apertura

En algunos filtros, este sistema puede ser automático, con un motor hidráulico o neumático que ajusta la presión necesaria para el cierre hermético de las placas durante el proceso de filtración. En otros casos, se utilizan mecanismos manuales.

2.3.8. Sistema de soplado de aire

Se utiliza para expulsar el líquido residual y secar las tortas filtradas. El aire comprimido se fuerza a pasar a través de las tortas para reducir aún más el contenido de humedad.

2.3.9. Sistema de descarga de tortas

Permite la separación y extracción de las tortas de sólido acumuladas entre las placas. En los filtros de placas verticales, la torta puede caer por gravedad cuando se abren las placas.

2.3.10. Sistema de lavado de telas

En algunos filtros de prensa de placas verticales, existe un sistema de lavado de las telas filtrantes. Este sistema utiliza agua a alta presión para limpiar las telas entre ciclos de filtración y garantizar su eficacia en cada operación.

2.3.11. Bandeja de goteo

Se encuentra debajo de las placas y sirve para recolectar el líquido que pueda gotear durante el proceso de filtración o lavado de las telas.

2.4 Antecedentes internacionales

Saputri et al. (2019) llevaron a cabo un estudio de investigación titulado "Efecto de las diferencias de presión en el proceso de filtración de lodos. Eficiencia mediante el uso de filtro prensa de placas" en donde se plantea como las resistencias y las diferentes presiones del medio filtrante afectan el proceso de filtrado. Este estudio proporcionó una base científica sólida para discutir estrategias de optimización que pueden implementarse en el contexto específico de la filtración. Además, los hallazgos del estudio sugieren que una gestión adecuada de los parámetros de presión y resistencia es crucial para mejorar tanto el rendimiento como la eficiencia del filtrado, lo que tiene implicaciones significativas para diversas aplicaciones industriales donde la filtración de lodos es un proceso clave.

Según la página web Filter Presses (2022) se indicó que las condiciones operativas, como presión y el tiempo de filtración afectan la separación de sólidos y líquidos en las prensas de filtro. Se destaca que la manipulación adecuada de estas variables puede llevar a una mayor eficiencia en la separación, lo que reduce costos operativos y mejora la calidad del producto final. Este estudio fue una referencia clave para fundamentar la optimización de las condiciones operativas del filtro de prensa, mejorando tanto la eficiencia como la rentabilidad del proceso de filtración.

2.5 Ideas, principios y conceptos fundamentales

2.5.1. Diseño del Filtro de Prensa y su Relevancia

Un correcto diseño para un filtro de prensa es fundamental para su funcionamiento eficiente. Elementos como la cantidad de placas y telas filtrantes, la zona de filtrado y el tipo de medio de filtrado son fundamentales para optimizar la separación entre sólidos y líquidos. Un diseño apropiado facilita un funcionamiento eficaz y una gestión más eficiente de los materiales filtrados

2.5.2. Principio de Separación en el Filtro de Prensa

El principio de separación en los filtros de prensa se basa en la aplicación de presión a la pulpa, lo que permite que el líquido se separe de los sólidos correctamente. Este proceso es fundamental para garantizar una separación eficiente y efectiva de los componentes.

2.5.3. Separación Sólido-Líquido en los Filtros de Prensa

La separación sólido-líquido es un proceso clave en la minería, donde los filtros de prensa desempeñan un papel esencial. Al forzar el líquido a través del medio filtrante, los sólidos quedan atrapados, permitiendo su recuperación y reduciendo los residuos.

2.5.4. Impacto de la Presión en la Eficiencia

La presión ejercida durante el proceso de filtrado es un elemento crucial que impacta en la eficacia del filtro. Un incremento en la presión puede potenciar la velocidad de filtrado y la calidad de la misma, aunque es importante manejarla adecuadamente para evitar daños en el equipo.

2.5.5. Variables Operativas

Las variables operativas, como la presión de filtración, temperatura y pH, son fundamentales para el rendimiento del filtro. Un control preciso de estas variables es clave para maximizar la eficiencia y la calidad del filtrado.

2.5.6. Ciclo de Filtración

El ciclo de filtración abarca varias etapas, incluyendo llenado, filtración, compresión, desagüe y descarga. Cada etapa es crucial para asegurar un proceso de filtración eficiente y efectivo.

2.5.7. Eficiencia de Filtración

La eficiencia de filtración se mide por el porcentaje de sólidos recuperados y la calidad del filtrado. Factores como la tasa de filtración y la concentración de sólidos en el líquido filtrado son indicadores esenciales de la eficacia del proceso.

2.5.8. Control de Parámetros

El control de parámetros, tales como presión, temperatura y pH, es vital para optimizar el rendimiento del filtro de prensa. Ajustar estos parámetros permite mejorar la tasa de filtración y la calidad del producto final.

2.5.9. Manejo de Lodos

El manejo adecuado de los lodos generados durante la filtración es crucial para la sostenibilidad de las operaciones mineras. Es fundamental gestionar la disposición y tratamiento de estos lodos para minimizar su impacto ambiental.

2.5.10. Modelos de Sostenibilidad Minera

La implementación de filtros de prensa contribuye a la sostenibilidad en la minería al recuperar agua y minimizar los residuos. Estos sistemas forman parte de una perspectiva más extensa para la administración responsable de los recursos y la observancia de las normativas. (Repositorio UES, 1998) y (Tecnicopy, 2023)

CAPÍTULO III Metodología

El presente trabajo se desarrolló bajo un enfoque cualitativo, ya que busca analizar y describir los procesos de filtración y concentración en planta CMP, priorizando la interpretación de las interacciones entre los componentes del sistema y las variaciones en los ciclos de operación. Como señalan autores de la talla de Guba y Lincoln (1994), "el enfoque cualitativo permite obtener una comprensión contextual de los fenómenos, facilitando la interpretación de la complejidad de los procesos en su entorno natural". En este sentido, la metodología cualitativa es adecuada para el presente estudio, ya que permite comprender las interacciones entre los procesos operacionales y sus implicaciones ambientales. A través de la observación directa y el análisis de documentos técnicos, se pretende explorar las prácticas actuales implementadas por CMP en relación con el uso de filtros de prensa, los cuales fueron introducidos por primera vez en Chile con el objetivo de reducir el impacto ambiental y mejorar la eficiencia operativa.

3.1 Tipo de investigación

En primer lugar, es fundamental señalar que el presente trabajo se clasificó como no experimental, ya que no se intervinieron las variables analizadas ni se realizaron pruebas controladas. En lugar de manipular factores específicos, se llevó a cabo un análisis descriptivo de los procesos de filtración utilizados por CMP en la actualidad. Asimismo, la investigación es de tipo transversal, esto debido a que los datos y observaciones se recopilaron en un único momento, sin la necesidad de hacer seguimientos temporales o a largo plazo. Por otro lado, la investigación es de tipo explicativa, ya que se buscó identificar y explicar los procesos de filtración y concentración, detallando sus características operativas y ambientales. El análisis se centró en cómo estos procesos contribuyen al rendimiento operativo general, con un enfoque en su eficiencia y como

reducen el impacto ambiental al reutilizar recursos y minimizar los residuos contaminantes.

3.2 Fuentes de datos

Las principales fuentes de datos para el presente estudio se obtuvieron de documentos técnicos facilitados por el personal de planta CMP. Complementariamente, se consultó material adicional a través de diversas plataformas digitales, incluyendo documentos y PDF que abordan la operación de filtros de prensa, así como manuales técnicos elaborados por empresas italianas y chinas que describen en detalle el funcionamiento, costos operativos y características de los filtros de prensa que comercializan. Asimismo, se incorporaron videos producidos por empleados de diversas plantas en plataformas como YouTube, donde se documentan y explican los procesos asociados a los filtros de prensa. Adicionalmente, se recopiló información pertinente mediante el análisis de noticieros locales de la zona de Huasco, que han reportado sobre incidentes de derrames de la empresa CMP en el mar, suelos colindantes y otros eventos relacionados con el impacto ambiental.

Estas fuentes permiten desarrollar una visión integral de los procesos operacionales, sus mejoras y el impacto ambiental resultante de la implementación de los filtros de prensa en la planta.

3.3 Instrumentos de recolección de datos

Para la recolección de datos en el presente estudio, se emplearon los siguientes instrumentos:

3.3.1. Análisis de documentos

Se llevó a cabo una revisión exhaustiva de documentos técnicos proporcionados por el personal de planta CMP, en donde se detalló el proceso completo de filtrado desde la

recepción inicial del material hasta su disposición final, así como de manuales técnicos elaborados por empresas internacionales especializadas en filtros de prensa. Este instrumento permitió la extracción y análisis de información crítica relacionada con los procesos operativos, facilitando una comprensión detallada de su funcionamiento y características.

3.3.2. Análisis de contenido audiovisual

Se realizó un análisis de los contenidos audiovisuales disponibles en plataformas como YouTube, donde los trabajadores de planta documentan y explican los procesos asociados a los filtros de prensa en distintas partes del mundo. Este enfoque permitirá una apreciación más profunda de las prácticas operativas, complementando la información obtenida a través de los documentos técnicos.

3.3.3. Análisis de fuentes periodísticas

Se consultaron reportajes y noticias locales referentes a la zona de Huasco, que abordan eventos relacionados con el impacto ambiental de la empresa CMP, incluidos incidentes de derrames. Esta herramienta proporcionó un contexto valioso para entender las motivaciones y cambios en los procesos de filtración en respuesta a las preocupaciones ambientales.

3.4 Limitaciones de la Investigación

A pesar de la rigurosidad del enfoque metodológico utilizado en esta investigación, existen ciertas limitaciones que deben ser consideradas:

3.4.1. Información Restringida

La disponibilidad de documentos técnicos y datos específicos puede verse limitada debido a la confidencialidad de la información en la planta CMP. Esto restringe el alcance del análisis y la comprensión completa de los procesos operacionales.

3.4.2. Variabilidad en las Fuentes de Datos

La investigación se basó en múltiples fuentes de datos, algunas de las cuales pueden variar en calidad y precisión. Por ejemplo, el material audiovisual puede no reflejar con exactitud los procesos específicos de CMP, lo que podría introducir sesgos en la interpretación de los resultados.

3.4.3. Enfoque No-Experimental

Dado que esta investigación es no-experimental, no se realizaron pruebas controladas ni manipulaciones de variables, lo que limita la capacidad de establecer relaciones causales definitivas entre los procesos de filtración y los resultados observados.

3.4.4. Temporalidad de los Datos

La recolección de datos se realiza en un único momento, lo que puede no capturar la variabilidad de los procesos a lo largo del tiempo. Esto puede limitar la comprensión de cómo los procesos de filtración pueden cambiar en respuesta a diferentes condiciones operativas o ambientales.

3.6 Documentación del proceso de filtrado de prensa de planta CMP

Para cumplir con el primer objetivo planteado, se inició contactando a dos operadores encargados del área de filtrado en la planta de CMP. A estos operadores se les solicitó información técnica detallada sobre el funcionamiento de los filtros de prensa actualmente en operación. Esta información incluyó aspectos clave como los parámetros operativos, el procedimiento del proceso, las partes principales del equipo, el estado del material procesado y los turnos de trabajo.

De los diversos parámetros disponibles, el análisis se centró específicamente en el espesor, la humedad y el porcentaje de sólidos del material, debido a que estos factores son determinantes para evaluar el estado del material al salir del filtro. Estos parámetros

fueron estudiados para identificar cómo influyen en la eficiencia del filtrado y en la calidad del producto final.

Asimismo, se prestó especial atención al procedimiento de operación del filtro, desglosando cada etapa del ciclo de funcionamiento, desde la alimentación inicial del material hasta su descarga final. Esto permitió comprender cómo se llevan a cabo las operaciones y cómo estas afectan el rendimiento del equipo y las condiciones del material. Además, se analizaron las partes principales del equipo, tales como las placas filtrantes, las telas de filtrado y los sistemas hidráulicos, evaluando su rol en el proceso y su impacto en los resultados obtenidos.

Finalmente, una parte de la información recopilada (proceso de filtrado) fue organizada y sintetizada en un listado numerado que detalla la secuencia de funcionamiento de los filtros. Este enfoque detallado permitió sentar una base sólida para las siguientes etapas del proyecto, asegurando un análisis integral y representativo del sistema de filtrado.

3.7 Elaboración de esquema de ciclo de filtrado.

A partir de la información previamente analizada, se desarrolló un esquema detallado del ciclo de filtrado que ilustra visualmente el funcionamiento de los filtros de manera individual. Este recurso gráfico tiene como objetivo facilitar una comprensión precisa y estructurada del proceso de filtrado, proporcionando una visión clara de cada etapa involucrada.

Para la creación de esta representación gráfica, se utilizaron herramientas digitales especializadas, entre ellas plataformas de edición gráfica como "Canva", lo cual permitió un diseño eficiente y accesible. En su elaboración, se tomaron en cuenta factores clave como la disposición y las etapas en los equipos empleados, el desarrollo práctico de cada fase del proceso y su conclusión. De esta manera, se garantiza que la representación gráfica refleje con precisión la secuencia operativa y técnica del sistema de filtrado. Este

enfoque no solo busca mejorar la comprensión del flujo de trabajo, sino también optimizar el análisis y seguimiento de las actividades involucradas.

3.8 Análisis comparativo de parámetros operativos en filtros de prensa

Para llevar a cabo la comparación y análisis de los parámetros operativos de los filtros de prensa, se utilizó como base un conjunto de hojas de cálculo en Excel proporcionadas por CMP. Estas hojas de cálculo contienen datos detallados y consisten en las siguientes variables principales: porcentaje de humedad (H°), porcentaje de sólidos y el espesor del material (en milímetros). Además, para un análisis más completo y detallado, se consideraron los turnos operativos (2 turnos diarios) y los tres filtros en funcionamiento. Los datos recopilados abarcan un período de dos meses, desde julio a agosto, lo que permitió realizar un análisis de las variaciones y el rendimiento de los filtros a lo largo del tiempo.

Cada uno de estos parámetros fue analizado de manera individual y comparativa, con el objetivo de evaluar el desempeño de los filtros de prensa bajo distintas condiciones operativas. Para facilitar la interpretación y visualización de los resultados, se realizaron promedios de los datos recopilados en ambos turnos operativos (diurno y nocturno) para cada parámetro evaluado durante los meses analizados.

Dado que se trabajó con tres filtros en operación, se generaron seis gráficos en total: tres correspondientes al mes de julio y tres al mes de agosto. Cada gráfico mostraba las tendencias de los parámetros analizados —como el espesor, la humedad y el porcentaje de sólidos— junto con sus promedios mensuales por filtro. Estos gráficos, elaborados mediante el programa Microsoft Excel, permitieron identificar tendencias, detectar posibles anomalías, como alteraciones en el ciclo de filtrado o equipos en mantención, así como observar aumentos o descensos en los parámetros evaluados.

Además, se realizaron comparaciones entre los filtros operativos y los turnos correspondientes a lo largo de los dos meses evaluados, permitiendo un análisis detallado de su rendimiento en distintas condiciones. Este enfoque analítico proporcionó

una visión integral de la eficiencia operativa de los filtros de prensa, ofreciendo información valiosa para la toma de decisiones en futuras operaciones.

CAPÍTULO IV Presentación y análisis de resultados

4.1 Documentación del proceso de filtrado.

El proceso comienza con la recepción del material, el cual consiste en el transporte del mineral concentrado desde el proceso anterior hasta la planta de filtrado. En esta etapa, el material llega en estado húmedo, cargado con partículas sólidas y líquidos residuales que deben ser separados mediante el filtro de prensa.

Una vez recibido el material, se inician las siguientes etapas del proceso de filtrado:

4.1.1. Llenado

El material húmedo se introduce en el filtro de prensa. Durante esta fase, las compuertas se cierran herméticamente para evitar fugas y asegurar una distribución uniforme del material dentro de las cámaras de filtración.

4.1.2. Compactación

Después de la introducción del material, el filtro aplica presión para compactar el contenido dentro de las cámaras. Esto incrementa la densidad de la torta y optimiza la retención de sólidos.

4.1.3. Lavado de torta

Un líquido de lavado, como agua o soluciones específicas, se introduce para arrastrar partículas finas o residuos químicos.

4.1.4. Estrujadura

Se aplica una presión adicional para expulsar la humedad residual en la torta, incrementando la concentración de sólidos.

4.1.5. Soplado

Se introduce aire a presión para reducir aún más la humedad residual, optimizando la calidad del producto final.

4.1.6. Limpieza con agua a alta presión

Para mantener la eficiencia, se realiza una limpieza profunda con agua a alta presión, eliminando residuos que puedan obstruir las telas filtrantes.

4.1.7. Vaciado de membranas

Se desinflan las membranas de las placas para liberar la presión y permitir la extracción segura de la torta.

4.1.8. Apertura y descarga de torta

Las compuertas del filtro se abren para extraer la torta sólida, que luego se transporta para su disposición final o uso posterior.

4.1.9. Inspección y mantenimiento

Las placas, membranas y canales del filtro son inspeccionados para detectar posibles daños o acumulaciones de sólidos.

4.1.10. Lavado a baja presión

Se realiza un lavado preliminar con agua a baja presión para eliminar residuos superficiales antes de un nuevo ciclo.

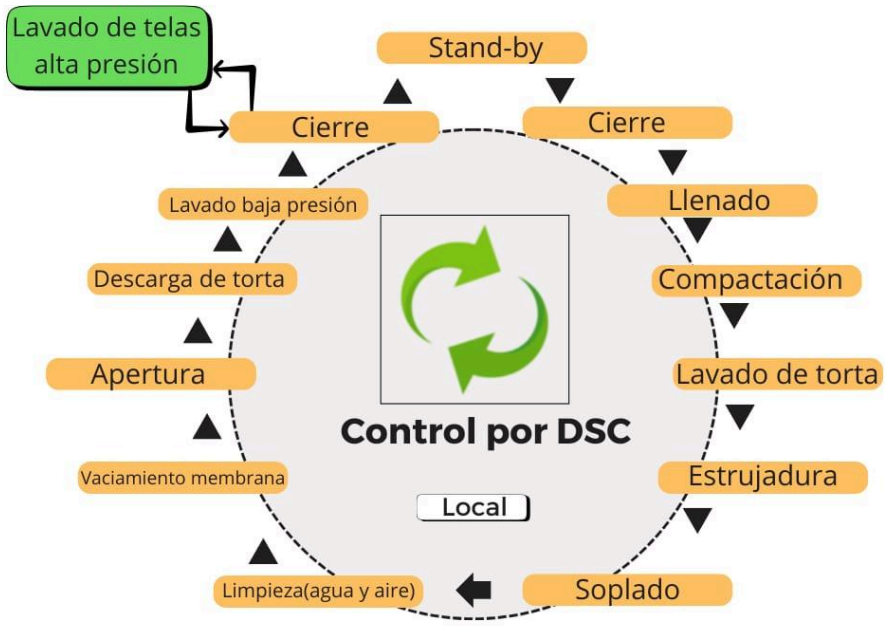
4.1.11. Lavado a alta presión

Si hay acumulaciones significativas, se ejecuta un lavado adicional con agua a alta presión para restaurar la eficiencia.

4.2 Esquema gráfico del ciclo de filtrado

El esquema gráfico presentado en la Figura N°10 detalla las etapas clave del ciclo operativo del filtro de prensa en CMP, desde la recepción del material hasta la descarga de la torta y el mantenimiento del equipo. Este diagrama destaca el control centralizado por el sistema DSC, que permite monitorear y optimizar cada paso del proceso.

Figura N°10 Esquema de ciclo del proceso de filtrado mediante filtro de prensa



Entre las actividades representadas, se incluyen:

- ➔ Llenado: Introducción uniforme del material.
- ➔ Compactación y lavado de torta: Incremento de densidad y limpieza del producto sólido.
- ➔ Estrujadura y soplado: Reducción de humedad mediante presión adicional y aire.
- ➔ Mantenimiento: Lavado a presión y limpieza general para preservar el equipo.

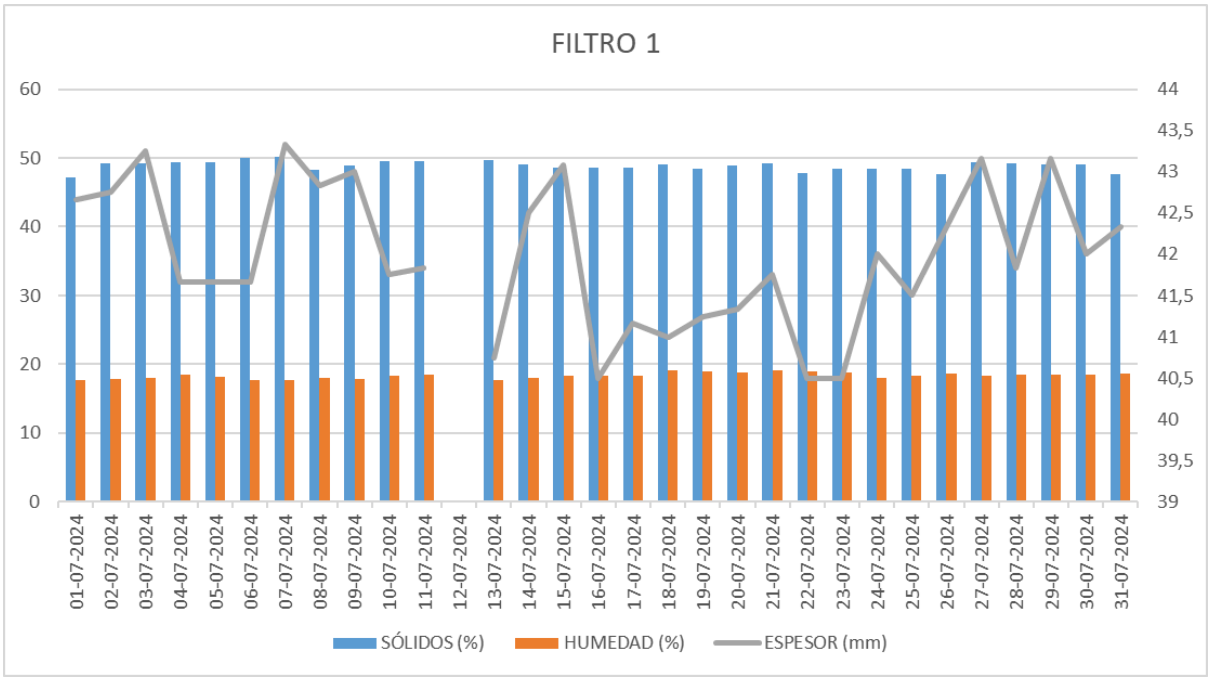
El esquema facilita una comprensión visual clara del flujo de trabajo, destacando su carácter cíclico y controlado, lo que asegura una operación eficiente y sostenible.

4.3 Análisis comparativo de parámetros operativos en planta CMP

En este objetivo, se llevó a cabo un análisis comparativo de los parámetros operativos de tres filtros de prensa durante los meses de julio y agosto. Los parámetros seleccionados para el estudio fueron: espesor, humedad y sólidos. Estos parámetros son cruciales para evaluar la eficiencia del proceso de filtrado y la calidad del producto final, en este caso, la torta filtrada.

A continuación, se presentan los parámetros analizados durante el mes de julio para los tres filtros que integran el sistema de filtrado de prensa de la Compañía Minera del Pacífico.

Figura N°4 Gráfico de barras combinado correspondiente al filtro 1 del mes de julio.



En este gráfico se representa el comportamiento de las variables de operación del Filtro 1 durante el mes de julio de 2024, específicamente el porcentaje de sólido, el porcentaje de humedad y el espesor del material. A continuación, se analiza cada parámetro en detalle:

- Humedad (%) y Sólidos (%):

Las líneas correspondientes a estos parámetros muestran estabilidad durante casi todo el mes, manteniéndose constantes. Esto sugiere que las condiciones de operación del filtro fueron consistentes, asegurando un control adecuado sobre estos parámetros clave.

Sin embargo, el día 12 de julio se observa una falta de datos, lo que probablemente se deba a la omisión en la actualización de la bitácora por parte del personal responsable. Este tipo de incidentes puede afectar la calidad del análisis y la confiabilidad de los reportes mensuales, subrayando la necesidad de fortalecer los procedimientos de registro.

- Espesor (mm):

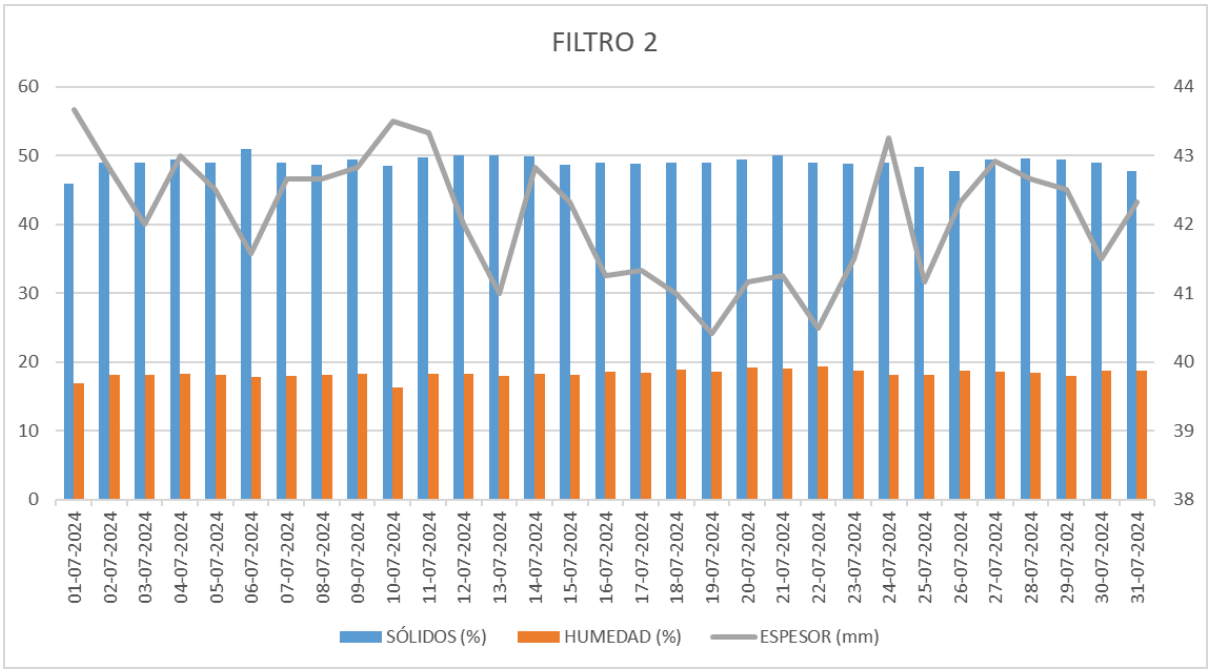
A diferencia de la humedad y los sólidos, el espesor presenta una mayor variación visual a lo largo del período. Sin embargo, al analizar los valores registrados, se observa que estos oscilan entre 40 mm y 45 mm, indicando que la variación es mínima y no afecta significativamente al proceso.

Estas pequeñas fluctuaciones pueden deberse a ajustes operativos normales o variaciones en la alimentación del material, pero están dentro de un rango aceptable para el filtro.

- Impacto de los datos faltantes:

La falta de información el día 12 no solo interrumpe la continuidad del registro, sino que también puede dificultar el análisis completo del rendimiento operativo del filtro. Esto destaca la importancia de establecer sistemas de control automatizados o auditorías regulares en los procedimientos de recolección de datos.

Figura N°5 Gráfico de barras combinado correspondiente al filtro 2 del mes de julio.



En el gráfico presentado se analizan las variables operativas del Filtro 2 durante el mes de julio, en relación con el porcentaje de sólidos, el porcentaje de humedad, y el espesor. A continuación, se realiza un análisis detallado de cada parámetro:

- Humedad (%) y Sólidos (%):

Los sólidos se mantienen en un rango constante a lo largo del mes, con una línea estable y sin variaciones significativas. Esto demuestra una buena consistencia en el proceso de filtrado y en el control de la alimentación del material.

Por otro lado, el porcentaje de humedad presenta valores uniformes, pero con ligeras disminuciones en algunos días específicos, que podrían correlacionarse con los aumentos en el espesor del material, como se observa en el gráfico.

Estas variaciones son mínimas y están dentro de un rango operativo aceptable, lo cual evidencia un control adecuado de las variables.

- Espesor (mm):

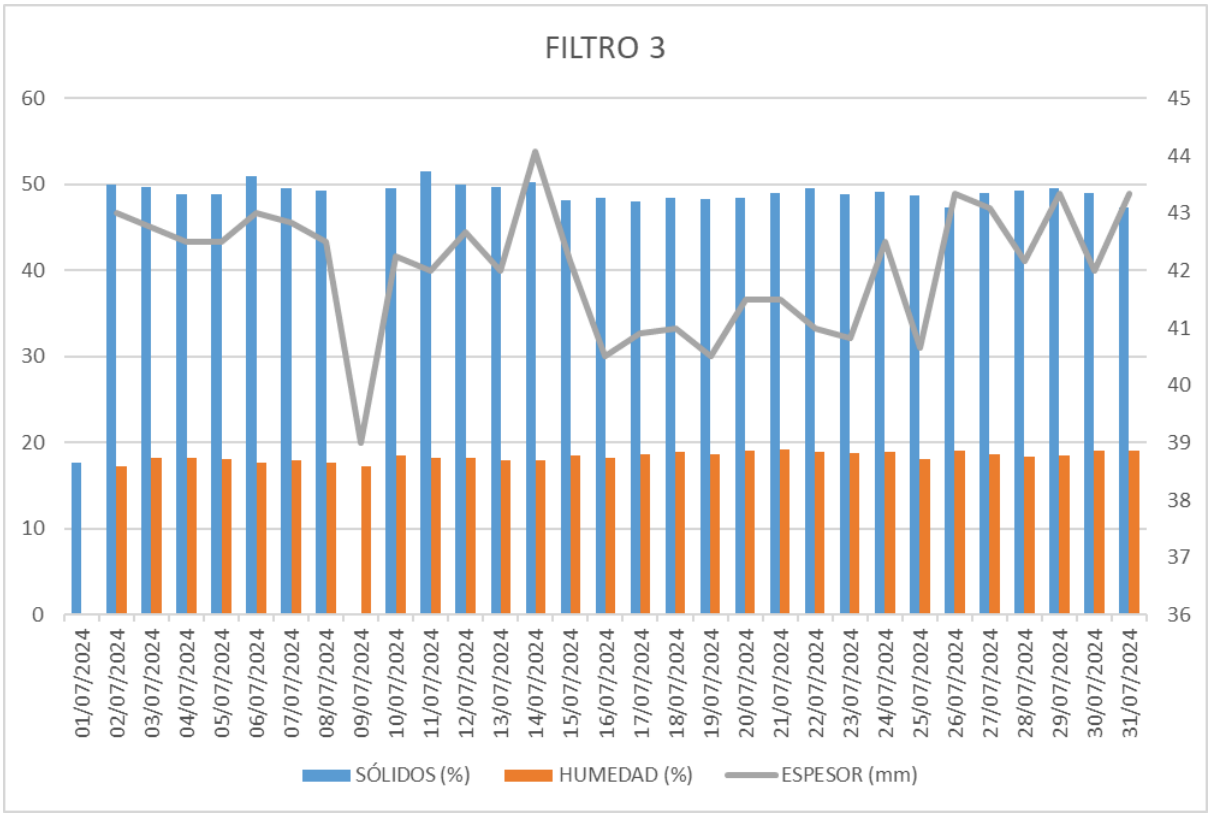
El espesor muestra un comportamiento con fluctuaciones más notorias que en el caso del Filtro 1, con valores que oscilan entre 40 mm y 43 mm.

Los incrementos en el espesor podrían estar relacionados con las pequeñas disminuciones en el porcentaje de humedad inicial, lo que indica una mayor compactación del material en el proceso de filtrado. Este comportamiento es normal y refleja una respuesta del sistema a los cambios en las condiciones del material tratado.

- Rendimiento general:

A pesar de las variaciones en el espesor, el Filtro 2 muestra un funcionamiento regular y estable en términos generales, con indicadores dentro de los parámetros de control esperados. La consistencia en los porcentajes de sólidos y humedad, junto con las fluctuaciones controladas en el espesor, refleja un buen manejo operativo durante el mes.

Figura N°6 Gráfico de barras combinado correspondiente al filtro 3 del mes de julio.



En este gráfico se representa el comportamiento de las variables de operación del Filtro 3 durante el mes de julio de 2024, específicamente el porcentaje de sólidos, el porcentaje de humedad y el espesor del material. A continuación, se analiza cada parámetro en detalle:

- Humedad (%) y Sólidos (%):

Las barras correspondientes a estos parámetros muestran estabilidad durante casi todo el mes, lo que sugiere que las condiciones de operación del filtro fueron consistentes y que se mantuvo un control adecuado sobre estos parámetros clave.

Sin embargo, el día 9 de julio se observa una falta de datos para el porcentaje de sólidos, aunque sí se registraron los valores de humedad y espesor. Esto resulta inconsistente, ya que el objetivo principal del proceso de filtración es separar los sólidos del relave. Este tipo de incidentes podría deberse a errores en la recolección o registro de

datos por parte del personal responsable, lo que afecta la calidad del análisis y la confiabilidad de los reportes mensuales.

- Espesor (mm):

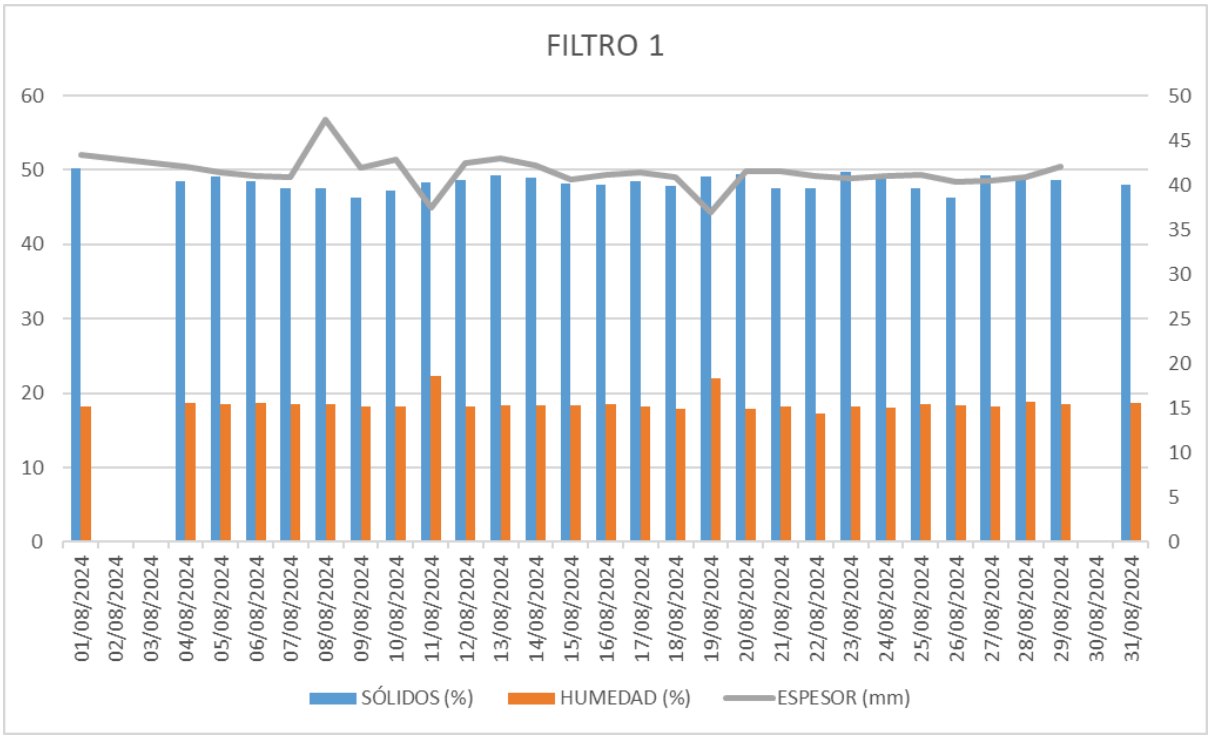
El espesor, representado por la línea gris, presenta pequeñas variaciones a lo largo del período. Los valores oscilan entre 40 mm y 45 mm, lo que indica que, aunque hay fluctuaciones visuales, estas son mínimas y no afectan significativamente el proceso.

Estas fluctuaciones podrían deberse a ajustes operativos normales o variaciones en la alimentación del material, pero están dentro de un rango aceptable para el filtro.

- Impacto de las fallas y datos faltantes:

Las fallas iniciales del filtro 3, ocurridas el 1 de julio, afectaron temporalmente su rendimiento debido a problemas en las telas utilizadas, lo que llevó al filtro 2 a procesar mayor carga de material. Esto resultó en un mayor espesor del material filtrado por dicho filtro durante ese período. Por otro lado, la falta de información sobre los sólidos el día 9 interrumpe la continuidad del registro y puede dificultar un análisis completo del rendimiento operativo del filtro. Esto subraya la necesidad de reforzar los procedimientos de registro de datos, ya sea mediante sistemas automatizados o auditorías regulares, para garantizar la calidad y confiabilidad de los informes.

Figura N°7 Gráfico de barras combinado correspondiente al filtro 1 del mes de agosto.



El gráfico presentado corresponde al análisis de las variables operativas del Filtro 1 durante el mes de agosto de 2024. Las variables consideradas son el porcentaje de "sólidos", el porcentaje de "humedad", y el "espesor" del material, las cuales son fundamentales para evaluar el rendimiento del proceso de filtración.

- Sólidos (%):

Se observa que la concentración de sólidos se mantiene estable en un rango cercano al 50% durante todo el período evaluado, lo que indica un funcionamiento consistente del filtro en la separación sólido-líquido.

La estabilidad en este parámetro es clave, ya que una disminución significativa podría implicar ineficiencias en la filtración.

- Humedad (%):

El porcentaje de humedad del material presenta valores relativamente constantes, con ligeros picos en fechas como el 11/08/2024 y el 20/08/2024. Estas variaciones pueden estar relacionadas con cambios en las condiciones del proceso o la alimentación del filtro.

Es importante controlar este parámetro, ya que un incremento excesivo en la humedad puede afectar la calidad del material final y los tiempos de operación.

- Espesor (mm):

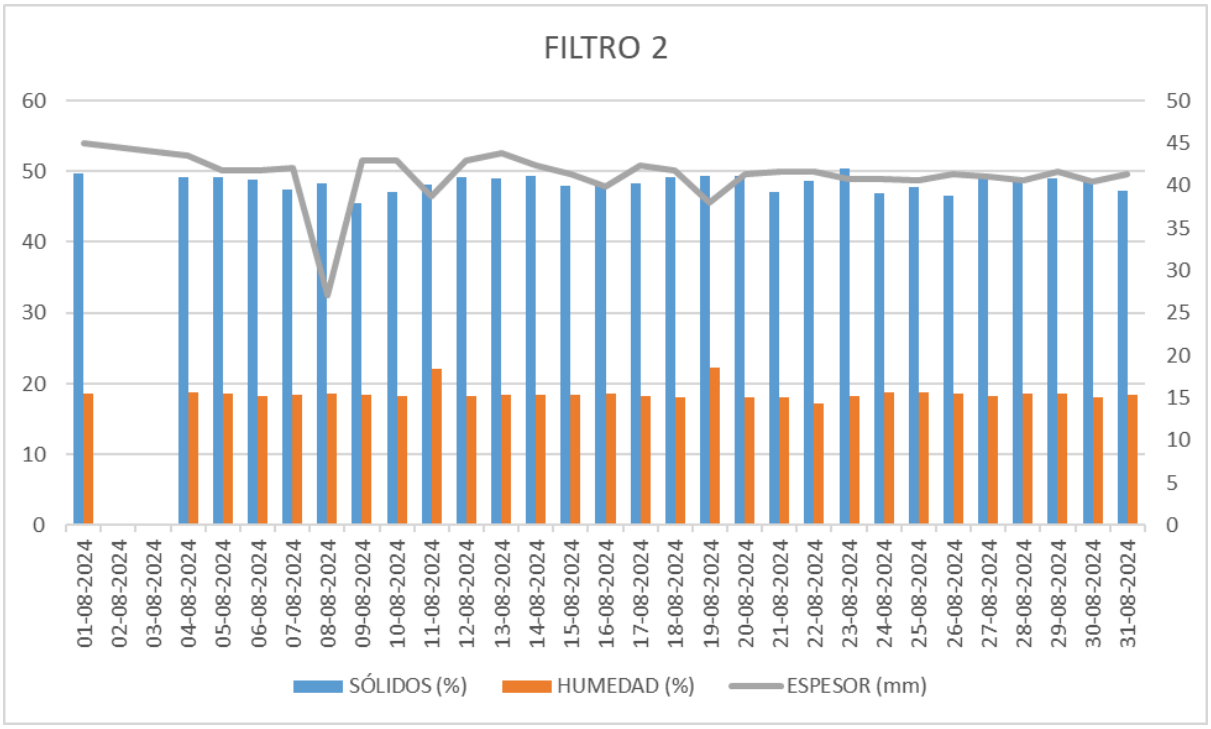
El espesor del material muestra pequeñas fluctuaciones, pero tiende a estabilizarse alrededor de los 40 mm. Este parámetro es relevante para garantizar que el material filtrado cumpla con los estándares requeridos en el proceso.

- Interpretación de las variaciones:

Los picos observados en algunas fechas podrían deberse a interrupciones en el proceso, ajustes operativos o errores en el registro de datos.

Una posibilidad es que las bitácoras de operación no hayan sido actualizadas correctamente, lo que generaría inconsistencias en los datos. Esto resalta la importancia de contar con sistemas de monitoreo automáticos o mejorar los protocolos de registro.

Figura N°8 Gráfico de barras combinado correspondiente al filtro 2 del mes de agosto.



En este gráfico se representa el comportamiento de las variables de operación del Filtro 2 durante el mes de agosto de 2024, específicamente el porcentaje de sólidos, el porcentaje de humedad y el espesor del material. A continuación, se analiza cada parámetro en detalle:

- Humedad (%) y Sólidos (%):

Estos parámetros muestran una tendencia estable durante la mayor parte del mes, reflejando consistencia en las condiciones de operación del filtro. Sin embargo, se presentaron anomalías en los días 2 y 3 de agosto, cuando no se registraron datos para ninguno de los dos parámetros. Este hecho no está justificado en la bitácora, lo cual compromete la calidad del análisis y sugiere fallas en los procedimientos de recolección de datos.

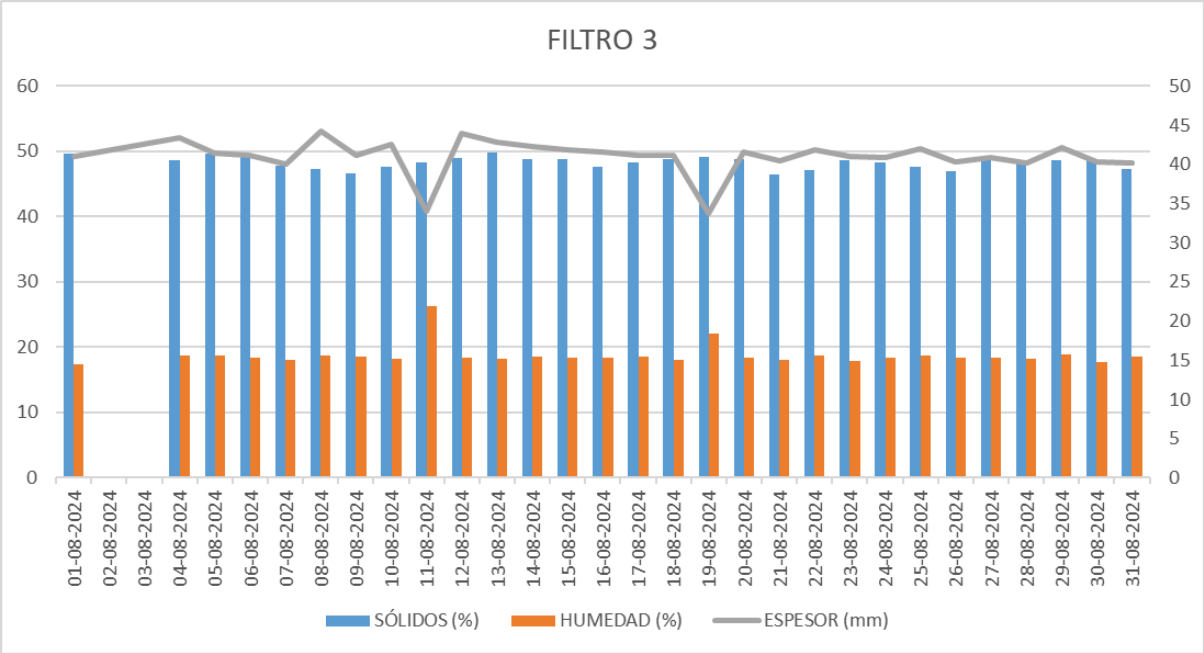
- Espesor (mm):

El espesor del material se mantiene entre 40 y 45 mm durante la mayoría del mes, lo que indica una variación mínima y un control adecuado en esta variable operativa. Sin embargo, el día 8 de agosto destaca como una excepción, ya que no se registraron valores en la bitácora. En su lugar, se calculó un promedio de 27 mm basado en ambos turnos de trabajo, lo cual está significativamente por debajo del rango habitual. Este desvío puede deberse a un error operativo o una modificación puntual en las condiciones del proceso, pero al no estar documentado, limita la comprensión del evento.

- Impacto de los datos faltantes:

Las ausencias de registros los días 2, 3 y 8 de agosto generan interrupciones en la continuidad del análisis y dificultan evaluar el desempeño completo del filtro durante el mes. Esto subraya la importancia de implementar medidas como auditorías regulares o sistemas automatizados para garantizar la recolección y registro confiables de los datos operativos.

Figura N°9 Gráfico de barras combinado correspondiente al filtro 3 del mes de agosto.



En este gráfico se representa el comportamiento de las variables de operación del Filtro 3 durante el mes de agosto de 2024, específicamente el porcentaje de sólidos, el porcentaje de humedad y el espesor del material. A continuación, se analiza cada parámetro en detalle:

- Humedad (%) y Sólidos (%):

Las líneas correspondientes a estos parámetros muestran estabilidad durante casi todo el mes, manteniéndose constantes. Esto sugiere que las condiciones de operación del filtro fueron consistentes, asegurando un control adecuado sobre estos parámetros clave. Sin embargo, los días 2 y 3 de agosto se observa una falta de datos, lo que probablemente se deba a la omisión en la actualización de la bitácora por parte del personal responsable. Este tipo de incidentes puede afectar la calidad del análisis y la confiabilidad de los reportes mensuales, subrayando la necesidad de fortalecer los procedimientos de registro.

- Espesor (mm):

A diferencia de la humedad y los sólidos, el espesor presenta fluctuaciones notables en días específicos. En particular, los días 11 y 19 de agosto, el espesor disminuye significativamente debido a picos en los valores de humedad. Este comportamiento refleja una relación inversa entre ambas variables: cuando aumenta la humedad, el espesor del material tiende a disminuir.

Fuera de estos días, el espesor se mantiene relativamente constante, indicando un desempeño adecuado del filtro dentro de parámetros aceptables.

- Impacto de los datos faltantes:

La falta de información los días 2 y 3 no solo interrumpe la continuidad del registro, sino que también puede dificultar el análisis completo del rendimiento operativo del filtro. Esto destaca la importancia de establecer sistemas de control automatizados o auditorías regulares en los procedimientos de recolección de datos.

CAPÍTULO V Conclusión

A lo largo del desarrollo de la investigación, se ha logrado evidenciar de manera clara y detallada que la implementación de los filtros de prensa en la Compañía Minera del Pacífico ha resultado ser una estrategia altamente beneficiosa para la mitigación de los impactos ambientales en la localidad de Huasco. Esta tecnología, al ser aplicada de manera efectiva, ha permitido reducir significativamente la contaminación generada por la actividad minera, especialmente en relación con la disposición de relaves, contribuyendo de forma considerable a la recuperación de la calidad ambiental de la región. De esta manera, los filtros de prensa se presentan como una herramienta fundamental no solo en el control de los residuos mineros, sino también en la mejora de las prácticas industriales, lo que refuerza su importancia en el contexto de las "zonas de sacrificio" como lo es Huasco.

Por otro lado, el análisis de los documentos proporcionados por el personal de CMP ha facilitado la comprensión de los procesos asociados a los filtros de prensa en la minería. Esto permitió cumplir el primer objetivo de la investigación: documentar de manera minuciosa y completa el proceso de filtrado. El análisis detallado posibilitó la elaboración de una guía integral sobre este equipo, la cual permite la comprensión del proceso de operación de los filtros de prensa.

Asimismo, la creación de un esquema del ciclo de filtrado permitió alcanzar otro objetivo planteado: brindar una representación gráfica y detallada del proceso, de esta forma permitiendo una comprensión visual sencilla y a su vez más sintetizada, fácil para la comprensión.

El análisis de los parámetros operativos de los filtros de prensa también permitió comprender la importancia de una gestión adecuada de los materiales a filtrar. Además, la correcta operación de este equipo no solo contribuye a reducir los costos operativos asociados al tratamiento de relaves y a la gestión de recursos hídricos, sino que también genera un impacto positivo en términos de responsabilidad ambiental. También, cabe señalar que se evidenció el funcionamiento estable y con variación reducida por parte de los parámetros operacionales de los tres filtros de prensa evaluados.

Bibliografía

Andreoli, P. (2022). *Extracción de hierro magnético en Chile, una minería de menor impacto ambiental.*País Circular. https://www.paiscircular.cl/empresa-e-innovacion/extraccion-de-hierro-magnetico-en-chile-una-mineria-de-menor-impacto-ambiental/

Capone, M. (2016) *Filtros de prensa para relaves* (Tesis de Magister). Universidad de Chile.

Consejo minero. (2024). Mercado mundial de minerales. *Cifras actualizadas de la minería*, 4-9. https://consejominero.cl/wp-content/uploads/2024/06/CAM-06-2024.pdf

Diemme Filtration, (s.f). *Filtro de prensa de viga superior.*

https://www.diemmefiltración.com/wp-content/uploads/2022/01/GHT_ESP.pdf

Filter Presses. (2022). *Welders Filtration Technology*. https://www.wtf.be/en/home/

Relaves. (2023, 05 de septiembre). *Huasco, zona de sacrificio en expansión y olvidada por las autoridades.* Fundación Relaves. https://fundacionrelaves.org/huasco-zona-de-sacrificio-en-expansion-y-olvidada-por-las-autoridades/

Rodriguez, P. (2021). *Hierros y aceros.* IMetChile. https://imetchile.cl/hierro-y-aceros/

Saputri, Rizky Yunita, et al (2019). Effect of Pressure Differences on Sludge Filtration Process Efficiency by Using Plate Filter Press. *Journal of Vocational Studies on Applied Research,* 1(2), 22-26. doi: http://dx.doi.org/10.14710/jvsar.1.2.2019.22-26

Anexos

- Código QR de la guía integral para la comprensión y optimización del proceso de filtrado de prensa en la planta CMP

