

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARIA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSE MIGUEL CARRERA**

**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN MODELO DE MITIGACIÓN DE POLVO Y
MEJORA EN EL FILTRADO DE AGUA DE CHANCADO PRIMARIO
SULFURO.**

Trabajo de Titulación para optar al Título de
INGENIERO EN MANTENIMIENTO
INDUSTRIAL CON LICENCIATURA EN
INGENIERÍA.

Alumno:

Franco Andrés Vilches Briones.

Profesor Guía:

Mg. Ing. Marcelo Rojas Vidal.

2025



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): Memoria o trabajo de título, Tesis de Postgrado;

Título del trabajo: PROPUESTA DE DISEÑO DE UN MODELO DE MITIGACIÓN DE POLVO Y MEJORA EN EL FILTRADO DE AGUA DE CHANCADO PRIMARIO SULFURO.

Nombre del candidato(a): Franco Andrés Vilches Briones

Carrera / Grado: MANTENIMIENTO INDUSTRIAL, CON LICENCIATURA EN INGENIERÍA

Campus: Viña del Mar; Departamento: Mecánica

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Marcelo Rojas, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

El trabajo **NO** contiene información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por:

6 meses; 12 meses; 2 años; 3 años; 5 años; 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

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

Fecha: 27/08/2025

Firma: 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 27/08/2025

Firma: 

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

RESUMEN

KEYWORDS: MINERÍA, SUPRESIÓN.

El presente trabajo tiene como objetivo proponer una solución integral para mejorar la calidad del aire en la planta chancado primario sulfuro, en la empresa minera Mantos Blancos, ubicada a 56 kilómetros de distancia de la ciudad de Antofagasta, en el norte de Chile.

Para alcanzar este objetivo, se abordarán dos aspectos claves. En primer lugar, se contextualiza el proceso y la importancia de los equipos de supresión en el proceso, se detalla técnicamente las capacidades de los equipos de supresión y como apoyan a tener un aire limpio, sin embargo, tras una revisión visual y la revisión de registros operativos, se concluye que el sistema actual no cumple con los estándares indicados por Sernageomin Chile, en su reglamento de seguridad minera, decreto n° 132 señalando que “los equipos de supresión de polvo en la minería chilena no solo deben ser funcionales, sino que su diseño, operación y mantenimiento deben estar alineados con las exigencias del DS 594 y el DS 132, así como con las recomendaciones de las guías técnicas, con el objetivo primordial de proteger la salud de los trabajadores y el medio ambiente”.

En segundo lugar, se aborda que la calidad del agua utilizada en el sistema de supresión no es óptima, lo que afecta el rendimiento de los equipos y, por ende, su eficiencia. Es necesario implementar un proceso de filtrado adecuado, para garantizar que los sistemas de supresión de polvo operen a su máxima capacidad.

A partir de los hallazgos de los dos primeros capítulos, se plantea una propuesta de mejora enfocada en optimizar el rendimiento del sistema de supresión de polvo y, al mismo tiempo, como consecuencia, mejorar la calidad del aire en la planta. Se identificarán los principales puntos críticos, tales como el diseño del sistema, la calidad del agua, el estado de las cañerías (que cuentan con más de 50 años de servicio), y otros factores que afectan el desempeño del sistema.

Finalmente, se presentará un presupuesto detallado, que reflejará la inversión necesaria para implementar las mejoras propuestas, destacando que algunas de estas soluciones, pueden ser implementadas utilizando los recursos ya disponibles en la planta.

ÍNDICE

RESUMEN

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVO GENERAL.....	2
Objetivos específicos.....	2
1. ANTECEDENTES GENERALES DE LA EMPRESA y problemática.....	3
1.1 Mantos blancos.....	3
1.2 Estrategia de desarrollo sostenible.....	4
1.3 Visión y valores.....	4
1.4 Producción y resúmenes financieros.....	5
1.5 PROBLEMÁTICA.....	9
1.5.1 El proceso.....	9
1.5.2 Alcance y gasto operacional.....	11
1.5.3 Problemática.....	13
2 EFICIENCIA DEL SISTEMA E INTEGRIDAD MECÁNICA DEL MISMO.....	14
2.1 EFICIENCIA DEL SISTEMA.....	15
2.1.1 Sistema supresor de polvo.....	17
2.2 INTEGRIDAD MECÁNICA DEL SISTEMA.....	21
2.2.1 Integridad mecánica de la bomba.....	21
2.2.2 Integridad mecánica del sistema.....	22
2.2.3 Integridad mecánica en tuberías y estanques.....	26
3 PROPUESTA DE MEJORA Y CONSIDERACIONES TÉCNICO -ECONÓMICAS.....	30
3.1 PROPUESTA DE MEJORA (A).....	30
3.1.1 Consideraciones de la cotización.....	31
3.1.2 Comparaciones técnicas.....	32
3.1.3 Características técnicas de la instalación.....	32
3.2 PROPUESTA DE MEJORA (B).....	33
3.3 CONSIDERACIONES TÉCNICO-ECONÓMICAS.....	36
3.3.1 Gastos en el Personal que Realizará el Proyecto.....	36
3.3.2 Especificaciones técnicas de boquillas Sprinklers.....	38
3.3.3 Evaluación de Filtrado en la Planta.....	39
3.4 DATOS FINALES DE MAYOR IMPORTANCIA.....	42

3.4.1	Impacto en la reducción de MP.....	42
3.4.2	Costos vs beneficio	43
3.4.3	Propuesta de un plan de acción según modos de falla	44
3.4.4	Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo	44

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIAS

ANEXO A

ANEXO B

ANEXO C

ANEXO D

ANEXO E

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1-1	UBICACIÓN GEOGRÁFICA MINERA MANTOS BLANCOS	3
FIGURA 1-2	VALORES DE CAPSTONE COPPER.	5
FIGURA 1-3	INGRESOS CAPSTONE COPPER 2022.	7
FIGURA 1-4	CHANCADO PRIMARIO SULFURO	10
FIGURA 1-5	CHANCADO PRIMARIO SULFURO.	10
FIGURA 2-1	CONCEPTOS EN EFICIENCIA DE SUPRESIÓN.	14
FIGURA 2-2	VISTA GENERAL DEL SISTEMA EN TERRENO.	17
FIGURA 2-3	CONDICIÓN GENERAL DE TERRENO.	18
FIGURA 2-4	PARTES PRINCIPALES DE UNA BOQUILLA.	19
FIGURA 2-5	ESQUEMA GENERAL DEL PROCESO DE UNA BOQUILLA	20
FIGURA 2-6	BOMBA DEL SISTEMA SUPRESOR.	22
FIGURA 2-7	IMAGEN DE LAS TOBERAS INSTALADAS EN TERRENO.	23
FIGURA 2-8	CONDICIÓN DE OPERACIÓN.	24
FIGURA 2-9	CONDICIONES SUBESTÁNDARES EN EL EJE FLOTANTE DEL CHANCADOR.	25
FIGURA 2-10	MEMBRANAS Y FILTROS DEL SISTEMA.	25
FIGURA 2-11	LIMPIEZA DE UNA LÍNEA OBSTRUIDA	26
FIGURA 2-12	ESTANQUE DE ALIMENTACIÓN (TK-6000).	27
FIGURA 3-1	COTIZACIÓN POR PARTE DE RARING CORP	30
FIGURA 3-2	EJEMPLOS DE DEFLECTORES DE FLUJO.	33
FIGURA 3-3	SISTEMA DELUGE.	34
FIGURA 3-4	CHANCADO PRIMARIO EN MANTOS BLANCOS	35
FIGURA 3-5	ESPECIFICACIONES BOQUILLAS SPRINKLERS.	39
FIGURA 3-6	FILTROS SERIE 180.	39
FIGURA 3-7	FUNCIONAMIENTO DEL FILTRO SERIE 180	40

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1-1	PRODUCCIÓN DESDE EL 2020 A 2022.	7
TABLA 1-2	PRODUCCIÓN COMPLETA DEL AÑO 2022.	8
TABLA 1-3	PORCENTAJE DE CONSUMO ANUAL EN AGUA.	11
TABLA 1-4	VALOR EN EQUIPOS.	12
TABLA 1-5	EMISIONES AL AIRE.	13
TABLA 2-1	DATOS TÉCNICOS GENERALES DE LA BOQUILLA.	20
TABLA 2-2	TABLA RESUMEN DE INTEGRIDAD MECÁNICA OPERACIONAL EN EL SISTEMA DE SUPRESIÓN.	28
TABLA 3-1	COMPARACIÓN DE REQUISITOS Y CONDICIÓN ACTUAL.	32
TABLA 3-2	PRESUPUESTO EN MANO DE OBRA.	37
TABLA 3-3	PRESUPUESTO EN MATERIALES.	38

TABLA 3-4	COMPARACIÓN DE PROYECTOS.	42
TABLA 3-5	MITIGACIÓN ESPERADA DE MP	43
TABLA 3-7	MODOS DE FALLA Y PLAN DE ACCIÓN SEGÚN CRITICIDAD.	44
TABLA 3-8	PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.	45

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1-1	REPORTE DE SOSTENIBILIDAD 2022.	9
GRÁFICO 1-2	DISTRIBUCIÓN DE GASTOS EN PORCENTAJES.	12
GRÁFICO 3-1	COSTOS VS BENEFICIO.	43

ÍNDICE DE DIAGRAMA

DIAGRAMA 2-1	SISTEMA SUPRESOR	16
--------------	------------------	----

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1-1	CÁLCULO DE COSTOS POR DETENCIÓN EN PLANTA CONCENTRADORA.	6
ECUACIÓN 1-2	CÁLCULO DE COSTOS POR DETENCIÓN EN PLANTA DE ÓXIDO.	6

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

SIGLAS:

CH	:	Chancado.
CHPS - L1	:	Chancado primario sulfuro línea 1.
CHPS - L2	:	Chancado primario sulfuro línea 2.
MB	:	Mantos blancos.
PL	:	Planta.
SX	:	Solvent Extraction (Extracción por solvente).
BBA	:	Bomba.
GEI	:	Inventario de referencia de emisiones.
GISTM	:	Estándar Global de Gestión de Relaves para la Industria Minera.
MP	:	Material particulado.
TK	:	Estanque de agua para alimentar la planta (TK-6000).

SIMBOLOGÍA:

Lb	:	Libra.
----	---	--------

INTRODUCCIÓN

La planta de chancado primario sulfuro es un punto crucial en el proceso que conecta dos áreas, (área mina, chancado primario), lo cual nos permite, ver directamente el rendimiento de las dos áreas a nivel de producción.

Para que esta producción se ejecute, se requiere de la voladura del mineral, el acopio y movimiento de material del área mina, lo cual genera bastante polución y, además, está el punto de descarga de este mineral a chancado primario en el cual se “chanca la roca” y es un punto donde existe mucha polución en suspensión, donde el material particulado, afecta tanto a los trabajadores como a la comunidad de Baquedano, por la polución que se lleva el viento.

Uno de los sistemas más eficientes para la descarga de mineral, es el que se utiliza actualmente en la planta; sin embargo, su diseño y calidad no están completos, lo que impide que funcione de manera completamente efectiva. Por lo tanto, es necesario modificarlo y mejorarlo para optimizar su rendimiento.

El objetivo principal de este proyecto de tesis es elaborar una propuesta de mejora para el sistema de supresión de polvo en la faena minera. Esta mejora es crucial para garantizar el bienestar y la seguridad de los trabajadores, en conformidad con lo estipulado en el artículo 1 del Capítulo I del Decreto Supremo N° 132, Reglamento de Seguridad Minera, el cual establece como propósito fundamental “Proteger la vida e integridad física de las personas que se desempeñan en dicha industria y de aquellas que bajo circunstancias específicas y definidas están ligadas a ella”.

Por último, se busca mejorar la calidad del aire a nivel ambiental, ya que las toneladas de material particulado generadas por la operación de Mantos Blancos tienen un impacto directo en la comunidad de Baquedano. Este problema ha dado lugar a diversas demandas por parte de los residentes. Además, en toda la región de Antofagasta, es común que los vehículos que permanecen estacionados durante una semana se cubren con una capa densa de polvo, lo que sugiere que una gran parte de este material proviene de los procesos mineros locales. Para evitar las sanciones legales y reducir los riesgos de enfermedades, es fundamental implementar mejoras en el sistema de supresión de polvo

OBJETIVO GENERAL

Elaborar una propuesta de diseño, para un modelo de mitigación de polvo más eficiente, enfocado en la descarga de camiones, basado en la evaluación de modelos utilizados en otras operaciones mineras, con el fin de evaluar su viabilidad de implementación en la planta.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Reconocer técnicamente los componentes actualmente instalados en la planta y sus costos respectivos, para tener un criterio económico del sistema.

Evaluar la causa raíz del problema y cómo afecta a todos los componentes del sistema y así poder tener información para su posterior modificación.

Diseñar una estructura o sistema de mitigación de polvo, que reduzca el porcentaje de contaminación actual durante la descarga de los camiones, asegurando, además, que sea fácil de mantener y su mantención futura.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES DE LA EMPRESA Y
PROBLEMÁTICA

ANTECEDENTES GENERALES DE LA EMPRESA Y PROBLEMÁTICA

1.1 MANTOS BLANCOS

Mantos Blancos es una mina de cobre de alta ley ubicada en la región de Antofagasta, Chile (ver Figura 1-1). Se trata de una operación de tipo a cielo abierto, situada en un clima desértico y sin áreas protegidas alrededor de sus instalaciones. Actualmente, la mina está llevando a cabo un proyecto de desembotellamiento de la concentradora, cuyo objetivo es aumentar la capacidad de producción. Este proyecto finalizó su fase de construcción en 2022, y en la actualidad se está desarrollando un estudio para evaluar posibles crecimientos adicionales. Cabe destacar que, el 30 de noviembre de 2021, la compañía minera pasó a ser conocida como *Capstone Copper*, tras el acuerdo de fusión entre Capstone Mining y Mantos Copper.



Fuente: Reporte de sostenibilidad 2022. (s. f.). En www.capstonecopper.com.

https://capstonecopper.com/wpcontent/uploads/2024/04/CapstoneCopper_ReporteDeSostenibilidad2022_FINAL.pdf

Figura 1-1 Ubicación geográfica Minera Mantos Blancos

1.2 ESTRATEGIA DE DESARROLLO SOSTENIBLE

“En 2022, adoptamos nuestra Estrategia de Desarrollo Sostenible, la cual traza el camino para cumplir con nuestros compromisos hacia 2030. Esta estrategia se centra en cinco prioridades clave, que corresponden a nuestras áreas con mayores oportunidades de mejora.”

(“Reporte de Sostenibilidad 2022”, s. f.)

Entre las áreas a mejorar según el reporte de sostenibilidad 2022 de la minera Capstone Copper, se destacan los siguientes:

- Clima: Reducir las emisiones de GEI procedentes del combustible y la energía en un 30% para 2030.
- Agua: Mejorar calidad con respecto al año de referencia 2021, para 2030.
- Relaves: Implementar el GISTM en todas las instalaciones de almacenamiento de relaves (TSF) de Capstone para fines de 2028.
- Biodiversidad: Logro de métricas específicas del proyecto de recuperación, reforestación y restauración del hábitat para 2025.
- Comunidades: 100% de los sitios evaluados según el Estándar de Desempeño Social de Capstone para 2025.

1.3 VISIÓN Y VALORES

La visión de la empresa Capstone es “Crear un impacto positivo en las vidas de nuestra gente y comunidades aledañas, generando atractivas ganancias para nuestros inversionistas mediante la producción sostenible de cobre para satisfacer las crecientes necesidades del mundo. (“Reporte de Sostenibilidad 2022”, s. f.)

Por otro lado, en el mismo Reporte de Sostenibilidad 2022, se menciona que los “valores de la compañía, proporcionan una base vital para el modelo operativo descentralizado en el que los sitios individuales toman decisiones independientes en el día a día, sobre la base de nuestro marco de gobierno corporativo y políticas globales, y su contexto geopolítico local, personas, comunidad y factores ambientales (ver figura 1-2).

Entre los valores se destacan:

“Seguridad: La seguridad no es negociable. Hacer elecciones seguras garantiza y puede mejorar la salud y el bienestar de nuestra gente, nuestros contratistas y las comunidades. El objetivo final es cero daños.

Cuidado: Desarrollamos relaciones abiertas y constructivas. Abrazamos la diversidad. Cuidamos mucho de nuestros recursos, de nuestra gente, el medio ambiente y las comunidades.

Responsabilidad: Nos hacemos responsables de nosotros y de nuestro trabajo. Actuamos con integridad. Hacemos todo con honestidad, ética, justicia y transparencia.

Excelencia: Nos esforzamos por sobresalir en todo lo que hacemos. Continuamente buscamos formas de innovar nuestro negocio. Estamos enfocados en crecer y comprometidos con desarrollar nuestro máximo potencial, así como el de nuestros equipos y nuestros recursos.” (“Reporte de Sostenibilidad 2022”, s. f.)



Fuente: Reporte de sostenibilidad 2022. (s. f.). En www.capstonecopper.com.

https://capstonecopper.com/wp-content/uploads/2024/04/CapstoneCopper_ReporteDeSostenibilidad2022_FINAL.pdf

Figura 1-2 Valores de Capstone Copper.

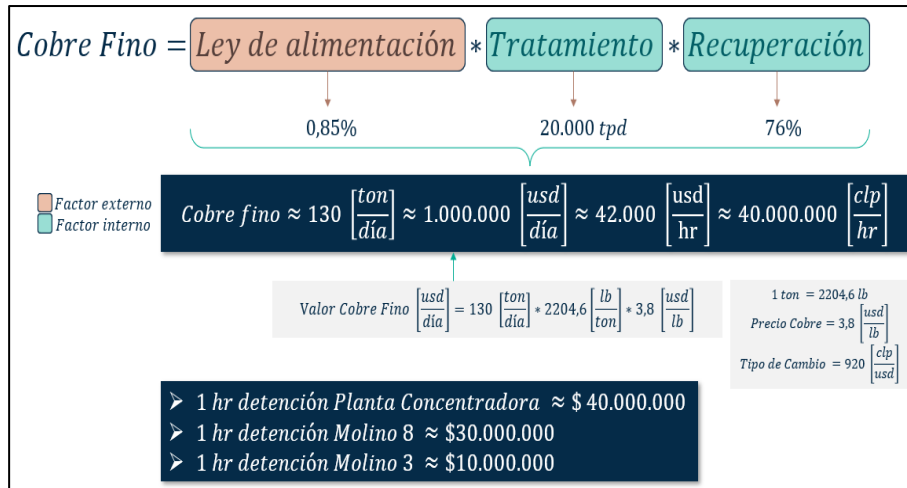
1.4 PRODUCCIÓN Y RESÚMENES FINANCIEROS

Mantos Blancos se dedica principalmente a la extracción de sulfuro de cobre, el cual es procesado en la planta concentradora, que tiene una capacidad de 20,000 toneladas por día, gracias al proyecto de desembotellamiento que incorporó el molino 8 en la producción. Sin embargo, la planta opera generalmente a un promedio de 16,500 toneladas por día.

El concentrado de cobre representa el 73,82% de los ingresos de la empresa, mientras que el resto proviene de la planta SX.

A continuación, en la Ecuación 1-1 se presenta un esquema para el cálculo del negocio de la planta concentradora. En ella se identifican las variables clave, tanto factores

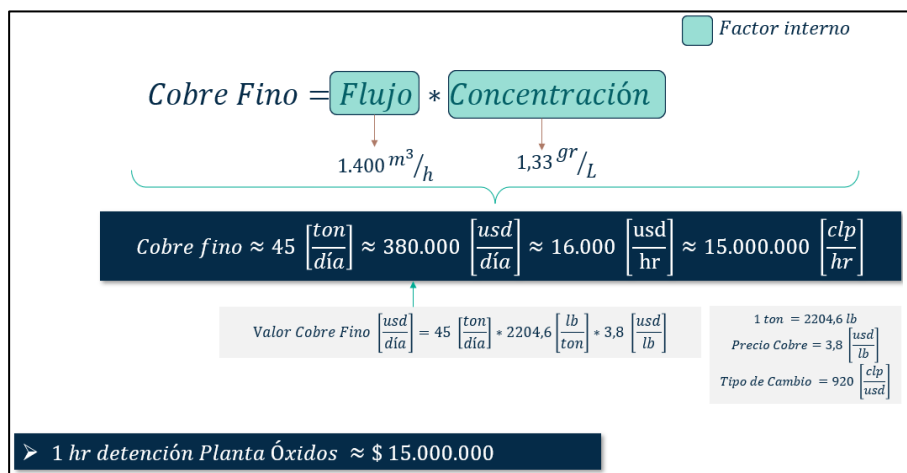
externos como internos, que son esenciales para esta evaluación, como el valor comercial del cobre fino y el número de toneladas procesadas. Este modelo es de gran utilidad para determinar el impacto económico y los costos que se generan ante la detención de activos críticos o la parada total de la planta.



Fuente: Elaboración propia. Datos obtenidos en reunión de gestión Capstone Copper MB (2024).

Ecuación 1-1 Cálculo de costos por detención en planta concentradora.

En la siguiente Ecuación 1-2 se representa el valor del negocio de la planta de óxidos, el cual corresponde a un 27.28%. Esta ecuación, de forma análoga a la utilizada en la planta concentradora, define las principales variables para el cálculo final y permite cuantificar el impacto monetario en dólares que se produce al detener un equipo crítico."



Fuente: Elaboración propia. Datos obtenidos en reunión de gestión Capstone Copper MB (2024).

Ecuación 1-2 Cálculo de costos por detención en planta de óxido.

En 2022, procesaron un 16% menos de mineral en comparación con 2021, pero lograron mantener el mismo nivel de producción (ver Tabla 1-1). Este resultado se debe a que el procesamiento se vio afectado por la integración de equipos preexistentes con los nuevos instalados como parte de la Expansión de Mantos Blancos, un proyecto que está diseñado para mejorar la eficiencia operativa y prolongar la vida útil de la mina.

Tabla 1-1 Producción desde el 2020 a 2022.

Producción de mineral metálico y productos metálicos acabados (toneladas)					Totales por año			
Producción de mineral metálico y productos metálicos acabados (toneladas)	Pinto Valley	Mantos Blancos	Mantoverde	Cozamin	2022	2021	2020	% cambio 2021-2022
Toneladas molidas ²	19.027.000	5.491.000	0	1.353.000	25.871.000	25.156.847	24.581.830	3%
Toneladas para lixiviación ³	0	10.955.000	23.248.000	0	34.203.000	46.406.000	47.372.000	-26%
Total de mineral procesado	19.027.000	16.446.000	23.248.000	1.353.000	60.074.000	71.562.847	71.953.830	-16%
Concentrado de cobre producido	54.222	34.961	0	24.451	113.634	111.790	94.534	2%
Cátodo de cobre producido	2.622	15.697	47.364	0	65.683	67.482	55.209	-3%
Total de cobre producido	56.844	50.658	47.364	24.451	179.317	179.272	149.743	0%

Fuente: Reporte de sostenibilidad 2022. (s. f.). En www.capstonecopper.com.

[https://capstonecopper.com/wp-](https://capstonecopper.com/wp-content/uploads/2024/04/CapstoneCopper_ReporteDeSostenibilidad2022_FINAL.pdf)

[content/uploads/2024/04/CapstoneCopper_ReporteDeSostenibilidad2022_FINAL.pdf](https://capstonecopper.com/wp-content/uploads/2024/04/CapstoneCopper_ReporteDeSostenibilidad2022_FINAL.pdf)

En la Figura 1-3 se pueden observar los ingresos totales de Capstone Copper, desglosados por sus diferentes instituciones. Es importante notar que estos valores son un reflejo de la fase de adaptación de los proyectos, pues aún no se logra operar a la capacidad total planificada



Fuente: Reporte de sostenibilidad 2022. (s. f.). En www.capstonecopper.com.

[https://capstonecopper.com/wp-](https://capstonecopper.com/wp-content/uploads/2024/04/CapstoneCopper_ReporteDeSostenibilidad2022_FINAL.pdf)

[content/uploads/2024/04/CapstoneCopper_ReporteDeSostenibilidad2022_FINAL.pdf](https://capstonecopper.com/wp-content/uploads/2024/04/CapstoneCopper_ReporteDeSostenibilidad2022_FINAL.pdf)

Figura 1-3 Ingresos Capstone Copper 2022.

Como se mencionó anteriormente, Mantos Blancos se dedica principalmente a la extracción de sulfuro. En 2022, la capacidad de producción de concentrado de cobre fue de 28,957 toneladas, mientras que la producción de cátodos alcanzó las 12,274 toneladas, lo que resultó en un total de 41,231 toneladas producidas (Ver Tabla 1-2).

Tabla 1-2 Producción completa del año 2022.

3.2 Mantos Blancos – Antofagasta, Chile					
Estadísticas de funcionamiento					
	2022				
	P14	Q2	Q3	Q4	Total
Producción (metal contenido y cátodo)²					
Cobre en Concentrado (toneladas)	704	8.685	9.593	9.975	28.957
Cátodo (toneladas)	330	3.713	4.003	4.228	12.274
Cobre total (toneladas)	1.034	12.398	13.596	14.203	41.231
Minería					
Residuos (miles de toneladas)	—	11.671	10.837	17.112	39.620
Mineral (miles de toneladas)	—	8.409	8.559	4.713	21.681
Total (miles de toneladas)	—	20.080	19.396	21.825	61.301
Relación de desmonte (residuos:mineral)	—	1.39	1.27	3.63	1.83
Existencias (miles de toneladas)	—	801	1.425	1.794	4.020
Material total movido (miles de toneladas)	—	20.881	20.821	23.619	65.321
Operaciones del molino					
Toneladas por día	—	15,218	14.334	15.246	15.405
Calificación (%) ³	—	0,90	0,92	0,94	0,92
Recuperaciones (%) ³	—	69,7	79.3	75.1	72,5
Operaciones de vertido					
Rendimiento (miles de toneladas)	—	3.138	2.680	4.128	9,946
Calificación (%) ³	—	0,18	0,16	0,19	0,18
Plata					
Producción contenida (oz)	22	314	263	312	911

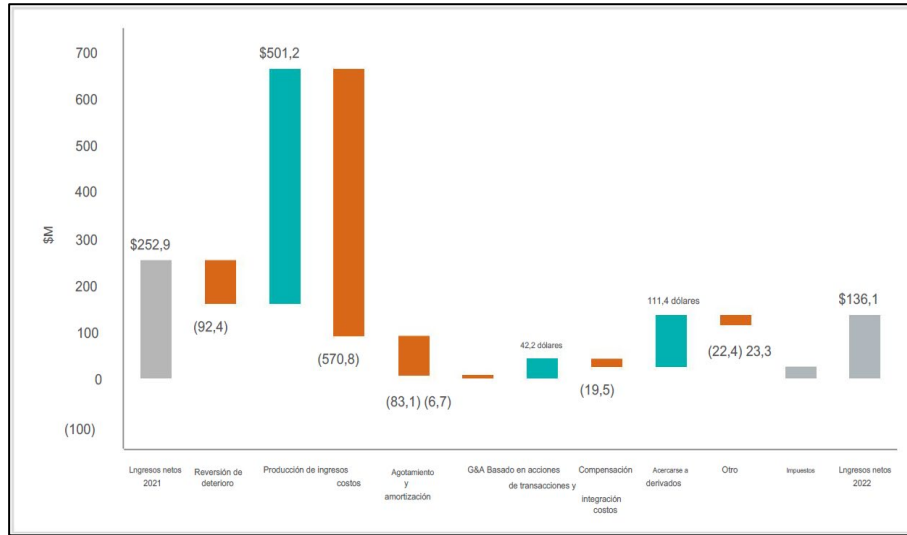
Fuente: Reporte de sostenibilidad 2022. (s. f.). En www.capstonecopper.com.

[https://capstonecopper.com/wp-](https://capstonecopper.com/wp-content/uploads/2024/04/CapstoneCopper_ReporteDeSostenibilidad2022_FINAL.pdf)

[content/uploads/2024/04/CapstoneCopper_ReporteDeSostenibilidad2022_FINAL.pdf](https://capstonecopper.com/wp-content/uploads/2024/04/CapstoneCopper_ReporteDeSostenibilidad2022_FINAL.pdf)

Según el reporte de sostenibilidad 2022. (s. f.) al cierre del 31 de diciembre de 2022, la compañía reportó una utilidad neta de 136.1 millones de dólares, cifra inferior a la del año anterior, que fue de 252.9 millones de dólares. Las variaciones más significativas que explican esta diferencia se ilustran en el Gráfico 1-1 y se describen a continuación

Gráfico 1-1 Reporte de sostenibilidad 2022.



Fuente: Reporte de sostenibilidad 2022. (s. f.). En www.capstonecopper.com.

[https://capstonecopper.com/wp-](https://capstonecopper.com/wp-content/uploads/2024/04/CapstoneCopper_ReporteDeSostenibilidad2022_FINAL.pdf)

[content/uploads/2024/04/CapstoneCopper_ReporteDeSostenibilidad2022_FINAL.pdf](https://capstonecopper.com/wp-content/uploads/2024/04/CapstoneCopper_ReporteDeSostenibilidad2022_FINAL.pdf)

1.5 PROBLEMÁTICA

Para comprender y abordar la problemática que este trabajo busca mitigar, es fundamental conocer algunos aspectos claves del proceso. De esta manera, podremos contextualizar adecuadamente la situación y abordarla de manera técnica y detallada.

1.5.1 El proceso

La planta de chancado primario sulfuro se divide en dos líneas: CHPS-L1 y CHPS-L2.

Esto se debe a que la Línea 1 alimenta la planta antigua de chancado fino sulfuro, mientras que la Línea 2 está conectada a la nueva planta de chancado fino sulfuro, correspondiente al proyecto de desembotellamiento, que actualmente está en funcionamiento en Mantos Blancos.

En esta fase del proceso, los camiones CAE, que transportan material proveniente del área mina, descargan el mineral en la parte superior de la estructura. Los chancadores primarios "chancan la roca" a un tamaño de tres pulgadas, y luego el material es transferido a la cámara de alimentación de los alimentadores, cada uno asignado a su respectivo chancador. Desde allí, el material se descarga a las correas transportadoras, que lo llevan hasta los *stockpiles* independientes para cada línea.

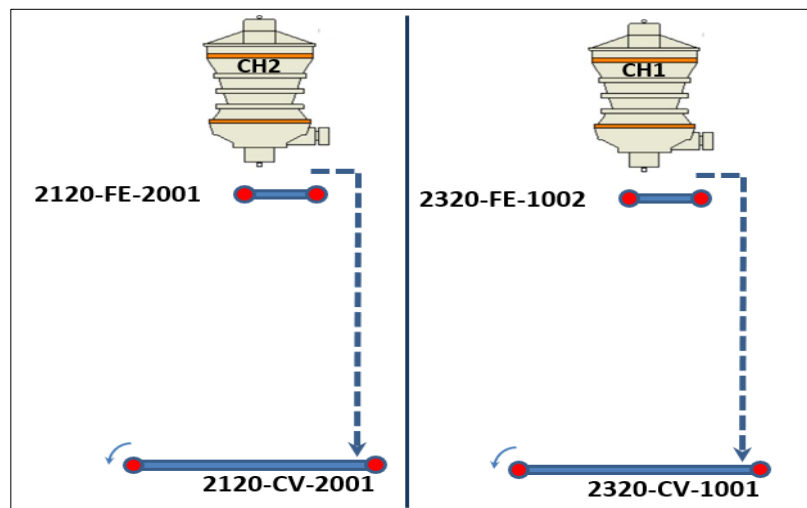
La figura 1-4 muestra de manera general la parte inicial del proceso de ambas líneas, donde los camiones descargan el mineral. En esta figura se puede observar cómo se libera polución hacia la atmósfera, lo cual no debería ocurrir. Además, Mantos Blancos es el centro productivo de Capstone Copper con el mayor porcentaje de emisión de material particulado al ambiente, medido en metros cúbicos de polvo.



Fuente: Elaboración propia. Fotografía real obtenida de Minera Mantos Blancos (2024).

Figura 1-4 Chancado primario sulfuro

La figura 1-5 muestra un diagrama de forma general de la parte inicial del proceso que ocurre en la torre del chancado primario.



Fuente: Creación Propia (2024).

Figura 1-5 Chancado primario sulfuro.

1.5.2 Alcance y gasto operacional

En promedio, cada día en la planta de chancado primario se descargan alrededor de 70 camiones, cada uno con una carga de 235 toneladas. Esto incluye las dos líneas primarias, lo que nos da una capacidad aproximada de 16,450 toneladas de producción diaria. Sin embargo, esta cifra es solo una referencia, ya que en un día pueden llegar a descargarse hasta 100 camiones, siempre que no ocurran imprevistos o fallas, ya sean de tipo mecánico u operativo.

Podemos observar que el porcentaje de agua consumido por el sistema de supresión en Mantos Blancos es relativamente bajo en comparación con el consumo anual total. Esto sugiere que se podría implementar una modificación en la estructura actual, como la instalación de más boquillas en posiciones más estratégicas, ya que, actualmente, no se logra mitigar un gran porcentaje de la polución generada. La Tabla 1-3 muestra el consumo anual de agua por el sistema de supresión utilizado para prevenir la polución durante la descarga de camiones.

Tabla 1-3 Porcentaje de consumo anual en agua.

Consumo de agua por supresión en la descarga de camiones.						
Tipo de Boquilla	Consumo de agua teórico.	Consumo de agua real	Consumo por día	Consumo Anual	Consumo Total MB	Consumo anual %
Boquilla EX3	Max. 45	1,2	3672	1340280	4.899.818.000	2,74%
	Litros / hora	Litros / min (sin venturi)	Litros / Dia (sin venturi)	Litros / Año (sin venturi)	Litros / Año	CHPS
	15 Psi Presión de agua.	80 Psi	80 Psi	80 Psi	Consumo en mantos	

Fuente: Elaboración propia (2024)

Los costos más altos asociados al sistema de supresión no están directamente relacionados con el consumo de agua, aunque es importante no excederse en el uso de este recurso, especialmente considerando que, aunque provenga de una planta de tratamiento y no del agua potable de Antofagasta, sigue siendo un bien preciado.

Los mayores gastos se deben al reemplazo de componentes del sistema, lo cual es necesario debido a que la calidad del agua no es adecuada, lo que afecta la efectividad del sistema de supresión.

La Tabla 1-4 muestra el costo de implementar el sistema de supresión (ver anexos A, B, y C), para evitar la polución generada por la descarga de camiones. Este valor incluye únicamente la compra de repuestos e instalación de componentes por parte del personal mecánico de la planta. Si se adquirieran estos componentes de empresas productoras como Multy o PRV, el valor aumentaría aproximadamente \$8,000,000 adicionales. Los altos costos de los equipos se deben a los componentes internos fabricados en acero inoxidable, el tipo de conexión rápida y el proceso de manufactura especializado que requieren. Además, los componentes se compran principalmente a Pimasa, el único proveedor actual, cuyos precios son más altos que los de otros competidores.

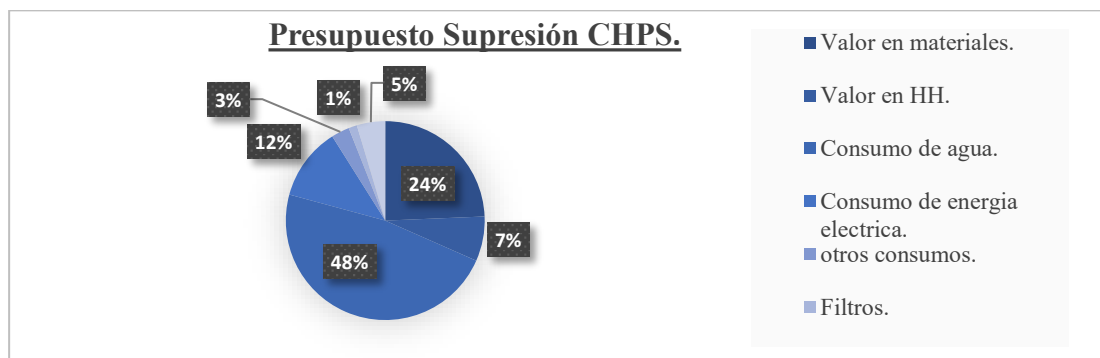
Tabla 1-4 Valor en equipos.

Valor en equipo y material.			
Equipo	Cantidad	Valor por unidad (CLP)	Valor total (CLP)
Multy.	2	\$ 4.120.110	\$ 8.240.220
Prv.	4	\$ 1.251.196	\$ 5.004.784
Toberas.	24	\$ 242.165	\$ 5.811.960
Otros.	0	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000
Valor por la descarga de camiones.			\$20.556.964

Fuente: Elaboración Propia (2024).

En el siguiente gráfico 1-2 se presentan los costos asociados con la implementación del sistema de supresión de polvo en el sector. En general, no se realiza una evaluación detallada de este sistema, ya que no se considera un equipo crítico y, por lo tanto, no se percibe como un factor que afecte directamente la producción.

Gráfico 1-2 Distribución de gastos en porcentajes.



Fuente: Elaboración Propia (2024).

1.5.3 Problemática

Según el reporte de sostenibilidad 2022. (s. f.) en la sección donde se aborda sobre contaminación, tal como se muestra en la Tabla 1-5, Mantos Blancos es la principal fuente de emisiones de material particulado (MP) en la región, con un total de 15,664 toneladas. Esto destaca la necesidad urgente de implementar mejoras en el sistema de supresión de polvo para reducir las emisiones y, de esta forma, mejorar la calidad del aire.

Tabla 1-5 Emisiones al aire.

Emisiones al aire (toneladas)					Totales por año			
Tipo de emisión	Pinto Valley	Mantos Blancos	Mantoverde	Cozamin	2022	2021	2020	% cambio 2021-2022
Material particulado (2,5 micrones)	280	432	498	11	1.221	1.359	1.093	-10%
Material particulado (<10 micrones)	2.373	3.129	3.022	48	8.572	9.334	8.023	-8%
Total de material particulado ¹	8.056	15.664	11.406	78	35.204	38.217	30.922	-8%
Óxidos de nitrógeno (NOx)	68	58	2.674	0	2.800	2.127	1.331	32%
Óxidos de azufre (SOx)	36	8	93	0	137	181	112	-24%
Monóxido de carbono (CO)	249	14	566	0	829	720	545	15%
Contaminantes atmosféricos peligrosos (HAP)	11	0	0	0	11	15	15	-27%
Plomo (Pb)	0,044	0	0	0,093	0,137	0,123	0,092	11%
Mercurio (Hg)	0	0	0	0	0	0	0	0%
Compuestos orgánicos volátiles (VOC)	32	0	0	0	32	37	40	-14%

¹ Material particulado total: partículas totales < 100 micrones suspendidas en el aire.

Fuente: Reporte de sostenibilidad 2022. (s. f.). En www.capstonecopper.com.

[https://capstonecopper.com/wp-](https://capstonecopper.com/wp-content/uploads/2024/04/CapstoneCopper_ReporteDeSostenibilidad2022_FINAL.pdf)

[content/uploads/2024/04/CapstoneCopper_ReporteDeSostenibilidad2022_FINAL.pdf](https://capstonecopper.com/wp-content/uploads/2024/04/CapstoneCopper_ReporteDeSostenibilidad2022_FINAL.pdf)

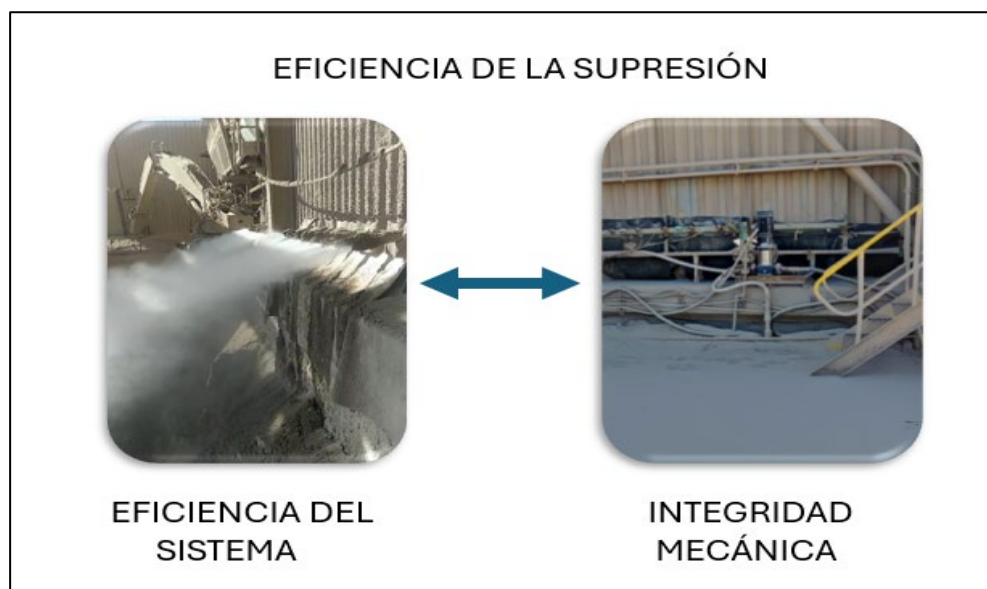
En Mantos Blancos se encuentra en operación una estación de monitoreo de polvo, que tiene como objetivo gestionar las posibles exposiciones a la salud de los trabajadores. Además, se ubica una estación de monitoreo adicional en la localidad de Baquedano, a 25 km de distancia, para evaluar el impacto en la zona circundante.

Cada año, una empresa independiente instala estaciones móviles de monitoreo en el sitio para medir los niveles de material particulado, especialmente los MP10 y MP2.5, y garantizar la protección de la salud de los trabajadores. Los resultados obtenidos de estas estaciones móviles se reportan al organismo regulador del trabajo, mientras que la declaración anual de las emisiones calculadas es entregada al organismo regulador del medio ambiente.

CAPÍTULO 2: EFICIENCIA DEL SISTEMA E INTEGRIDAD MECÁNICA
DEL MISMO

2 EFICIENCIA DEL SISTEMA E INTEGRIDAD MECÁNICA DEL MISMO

Para analizar adecuadamente la eficiencia del proceso, es fundamental definir dos conceptos críticos dentro del sistema supresor de polvo: la eficiencia operativa y la integridad mecánica. Esta distinción es esencial para identificar las debilidades presentes y utilizar estos hallazgos como base para desarrollar propuestas de mejora. Existe una interdependencia significativa entre el rendimiento del sistema supresor de polvo y su integridad mecánica; los defectos en la integridad pueden mermar seriamente su eficacia. Este vínculo se ilustra en la Figura 2-1, que muestra los componentes y su funcionamiento.



Fuente: Elaboración propia. Fotografías reales obtenida de Minera Mantos Blancos (2024).

Figura 2-1 Conceptos en eficiencia de supresión.

En relación con lo discutido anteriormente, es posible afirmar que la búsqueda de causas y defectos debe centrarse en la eficiencia del sistema y en la de los componentes mecánicos relacionados. Ambos aspectos están intrínsecamente ligados; un fallo en cualquiera de ellos repercute directamente en el otro, comprometiendo la funcionalidad total del sistema.

Este capítulo se divide en dos secciones principales. La primera examina la eficiencia del sistema supresor de polvo, donde se utilizarán imágenes para analizar las deficiencias operativas del sector y entender por qué el sistema no alcanza su objetivo fundamental. La segunda sección aborda la integridad mecánica del sistema, con una

evaluación técnica destinada a identificar y documentar los defectos críticos que afectan el proceso.

2.1 EFICIENCIA DEL SISTEMA

La eficiencia del sistema puede definirse como la relación entre la cantidad de agua atomizada que el sistema puede generar y su capacidad para combatir la polución. El sistema de supresión de polvo fino, que utiliza niebla seca en combinación con un resonador y un inyector, es un ejemplo clave. La niebla actúa similar a un filtro de tela, donde las partículas de polvo no pueden pasar sin colisionar con una gota de agua. Este contacto transforma la partícula de polvo en polvo húmedo, funcionando como un depurador efectivo que luego precipita. Este fenómeno se denomina aglomeración y es crucial para resolver problemas de emisiones de polvo fugitivo con niebla seca.

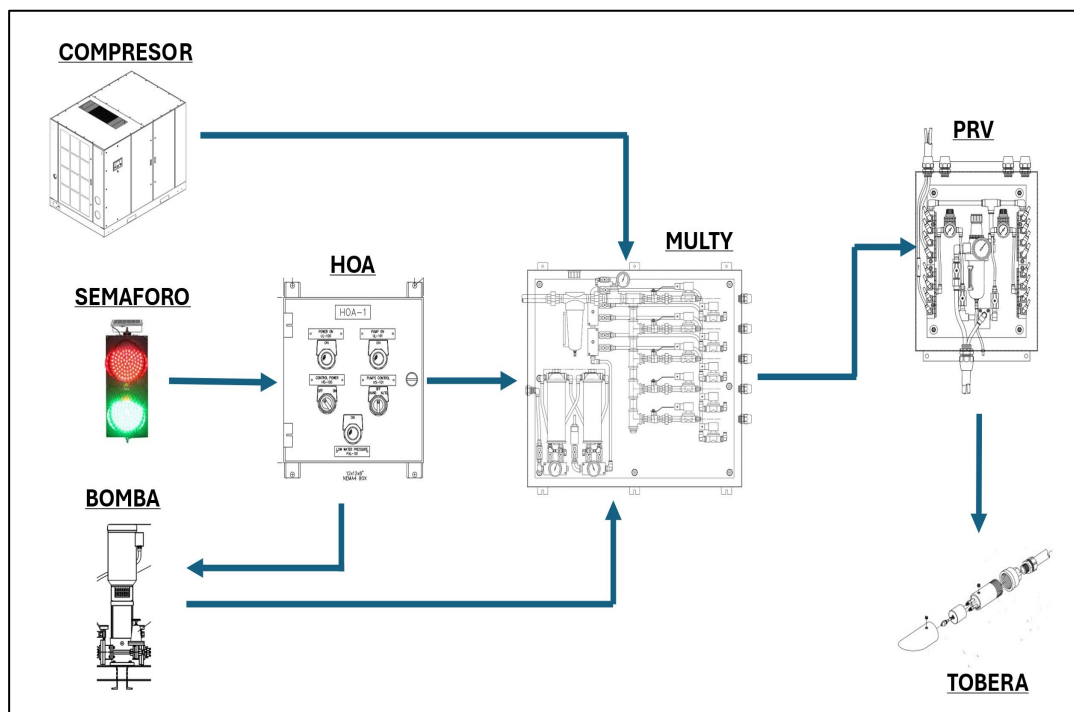
El principio activo de este mecanismo se basa en la aglomeración que ocurre entre cuerpos de tamaño similar. Por ejemplo, una partícula de polvo de 5 micras seguirá la corriente de aire alrededor de una gota de agua de 200 micras, evitando la colisión. Sin embargo, si la partícula de polvo y la gota de agua son de tamaño similar, la corriente de aire no es suficiente para evitar la colisión, lo que resulta en aglomeración. Por lo tanto, el sistema de supresión de polvo basado en agua es una solución rápida y adecuada para la zona de estudio, cumpliendo con todos los requisitos técnicos necesarios, que incluyen fácil implementación, funcionamiento efectivo y cobertura completa del sector.

Ahora para poder comprender cómo funciona este sistema de niebla seca, podemos observar el diagrama 2-1, un esquema general del sistema. Ahí se encuentra el compresor el cual alimenta las líneas de aire y entrega el caudal necesario a la caja MULTY. Paralelamente, tenemos la bomba de agua conectada eléctricamente con la caja HOA, la cual suministra agua para la caja MULTY. La caja HOA, conectada a un semáforo, envía una señal que activa el sistema en verde y lo detiene en rojo, afectando así tanto a la bomba como a las bobinas de agua y aire en la caja MULTY. La 'multy' alimenta a la PRV donde se regula con precisión la presión de agua y aire que será entregada a la tobera. Finalmente, la tobera atomiza el agua que ayuda a combatir la polución del sector, como se ha descrito técnicamente.

El siguiente diagrama 2-1 muestra el esquema general del sistema en la planta mediante la representación de los equipos. Para profundizar más en detalle, podemos definir el esquema de la siguiente manera:

- El semáforo, el cual da la señal de descarga para los camiones, y además es el que da la señal para activar el sistema (sala de control).

- El compresor, opera de manera independiente, suministrando el aire necesario para la planta. Es crucial que el caudal de aire esté siempre disponible.
- La caja HOA envía señales a la bomba de agua para poder activarla, así como a las bobinas de agua y aire que se encuentran en la caja MULTY.
- La caja MULTY es donde se recibe la alimentación de agua y aire directamente de las líneas que están en la planta y una vez que las bobinas son energizadas estas válvulas solenoides permiten el paso de los fluidos a la caja PRV.
- La caja PRV es el punto en el cual mediante manifolds de agua y aire se distribuye por tubing los fluidos a las toberas a la presión correspondiente a cada uno de ellos.
- Finalmente, la tobera es donde converge el sistema y nos encontramos con el agua atomizada que solemos ver la cual combate con la polución para poder reducirla.



Fuente: Elaboración propia (2024).

Diagrama 2-1 Sistema supresor

De lo anterior podemos concluir que este sistema comprende varios componentes esenciales que interactúan para cumplir su función final. Por ello, es fundamental evaluar tanto la eficiencia del sistema como la integridad mecánica de sus componentes para asegurar un desempeño óptimo en la reducción de la polución.

2.1.1 Sistema supresor de polvo.

El sistema supresor de polvo en este sector es fundamental para combatir la polución, lo cual es esencial para la salud de todas las personas que ingresan al área. La figura 2-2 ilustra las toberas encargadas de mitigar la polución generada por el chancador primario de la línea 2.



Fuente: Elaboración propia. Fotografías obtenidas de Minera Mantos Blancos, planta CHPS – L2. (2024).

Figura 2-2 Vista general del sistema en terreno.

Dado que el sistema de supresión por agua atomizada es crucial, debe operar constantemente al 100% de su capacidad. De no ser así, la cantidad de polución en la torre se vuelve muy visible, convirtiéndose en un factor de estrés y un riesgo para la salud. Esto

se debe a que la polución reduce la visibilidad y los lentes de seguridad resultan insuficientes para proteger los ojos del polvo. En terreno, esta situación se manifiesta como se muestra en la imagen a continuación.

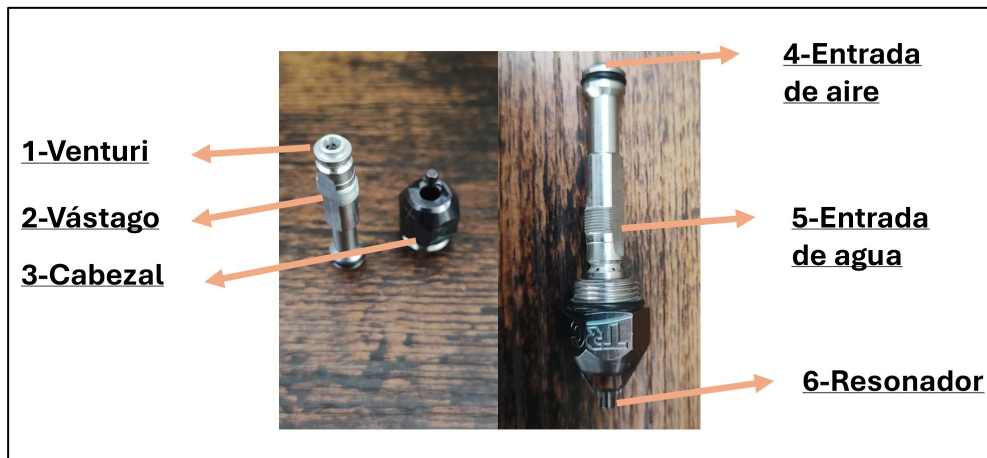


Fuente: Elaboración propia. Fotografías obtenidas de Minera Mantos Blancos, (2024).

Figura 2-3 Condición general de terreno.

Aunque estos equipos no son críticos para el proceso productivo en sí, ya que la planta puede continuar operando normalmente aun cuando el sistema no esté en funcionamiento, su importancia se acentúa durante inspecciones de Sernageomin o visitas de verificación de liderazgo (VFL) en el área. En tales ocasiones, si la polución es excesiva, la operación de la planta puede verse interrumpida para salvaguardar la salud de supervisores, superintendentes, personal de seguridad, y otros presentes. Por lo tanto, mientras que estos equipos no son cruciales para la línea de producción bajo condiciones normales, son esenciales para la salud y seguridad de quienes ingresan al sector.

En este estudio, nos centramos en identificar y cuantificar los problemas raíz de las fallas en las áreas más afectadas, detalles que se explorarán más adelante en el desarrollo de la unidad.



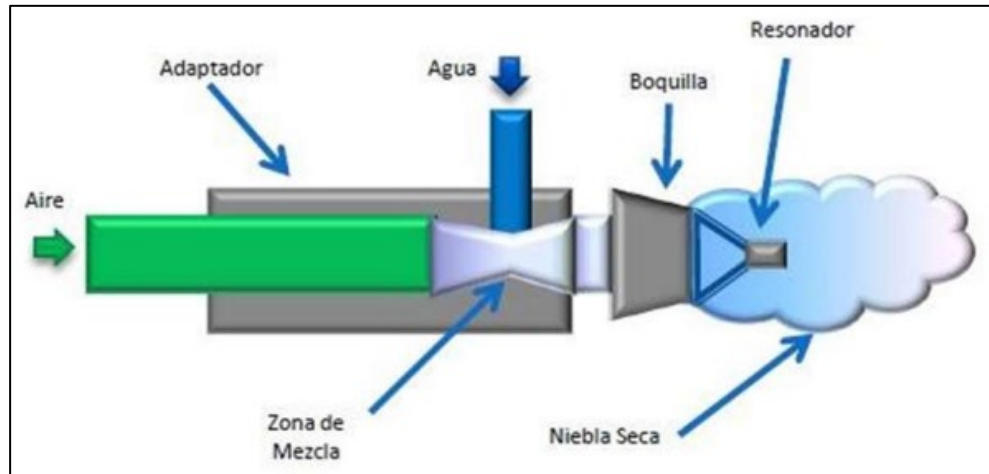
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 2-4 Partes principales de una boquilla.

La figura anterior ilustra los componentes principales de las boquillas, elementos vitales para el proceso. Conociendo estas partes, podemos describir de manera más específica y secuencial el funcionamiento de estas. El proceso de atomización es el siguiente:

- El agua ingresa desde las líneas hasta la tobera, dentro de la tobera el agua pasa por el borde exterior del vástago hasta llegar al Venturi donde se mezcla con el aire al interior del cabezal.
- El aire ingresa por la parte interior del vástago hasta llegar al Venturi donde se mezcla con el agua al interior del cabezal.
- Finalmente tenemos el resonador el cual cumple la función final de atomizar el agua y se encarga de que esta salga como niebla seca.

De acuerdo con lo anterior podemos ver como las boquillas son un sistema bastante complejo las cuales llevan un estudio mayor a 33 años en su diseño. La figura 2-5 define el proceso descrito anteriormente.



Fuente: <https://industrysystem.cl/aplicaciones-2/>.

Figura 2-5 Esquema general del proceso de una boquilla

Cada boquilla posee diferentes parámetros de trabajo, estos se definen como presiones de trabajos y presiones máximas, capacidades volumétricas, etc. Estos parámetros dependen directamente de las indicaciones teóricas del proveedor y los requerimientos operacionales ya que las condiciones no permiten operar bajo los parámetros teóricos del proveedor, es por eso por lo que se necesita conocer bien las debilidades del sistema para poder hacerlo más efectivo.

Volviendo a nuestra boquilla de niebla seca, la siguiente Tabla 2-1 indica los datos técnicos generales del equipo, como se mencionaba anteriormente estos datos son lo teórico, ya que en terreno no es posible utilizar el Venturi por la calidad del agua si este fuera utilizado las boquillas pasarían obstruidas y no funcionarían por la sedimentación que no permite el paso de los fluidos, es por esto que en terreno se retira el Venturi y aparte las presiones de trabajo son mayores la presión de aire es de 120 [Psi] y la presión de agua entre 80 – 100 [Psi].

Tabla 2-1 Datos técnicos generales de la boquilla.

Boquilla fp10 pns.	
Consumo de agua	30 lts/ hr
Presión de agua	7-10 PSI
Presión de aire	60 PSI
Fabricante	TRC RARING CORP
Material	ACERO INOXIDABLE + Recubrimiento TiCN (Titanium Carbo-Nitride)

Fuente: <https://www.raringcorp.com/>.

2.2 INTEGRIDAD MECÁNICA DEL SISTEMA

El sistema consta de una bomba que asegura la presión adecuada del fluido en los diferentes puntos, así como de cañerías y un estanque que serán analizados más adelante. Los componentes estáticos del sistema, como los estanques y las cañerías, son esenciales para trasladar el fluido a lo largo de la planta. En esta sección, exploraremos las principales oportunidades de mejora relacionadas con la integridad mecánica del sistema.

Podemos definir como integridad mecánica un proceso de donde se garantiza la adecuada instalación, mantención y diseño de los equipos.

La integridad mecánica implica garantizar que los equipos estén adecuadamente instalados, mantenidos y diseñados. Este proceso se fundamenta en la experiencia del especialista y en inspecciones visuales en el terreno, que se enfocan en identificar las condiciones deterioradas del sistema. Muchos de estos problemas son evidentes a simple vista o perceptibles por su impacto en las labores en el día a día.

2.2.1 Integridad mecánica de la bomba

En este caso se instala una bomba vms, este equipo cumple con todas las características necesarias para poder alimentar el sistema sin complicaciones nunca se tiene problemas por la capacidad de este equipo, siempre cumple con su función, pero se deben mejorar los siguientes puntos:

- **Redundancia del sistema**, siempre que la vida útil de este equipo llega a su límite no existe el de reserva para poder seguir operando por lo cual en este caso si la planta no tiene el personal de contingencia libre para hacer la instalación de esta y la falla ocurre un fin de semana, se debe esperar al especialista con turno administrativo y así poder instalarla es por ello que se requiere una bomba de reserva ya que cuando falla es incierta la cantidad de tiempo que la planta puede operar sin supresión de polvo.
- **Protección del equipo**, se puede implementar otro punto de instalación para que no se vea afectado por la cantidad de polución del exterior además de la exposición a todos los factores ambientales a los que se expone en este momento.
- **Instalación de los accesorios bajo norma**, se puede implementar con cañerías, pero bajo norma ya que como se aprecia en la imagen esta con

unos flexibles doblados y válvulas con muchos años de servicio, lo cual afecta el rendimiento del equipo.

- Si mejoramos los puntos antes mencionados y aparte instalamos una serie de filtros de los que se ocupan para el sistema, lo más probable es que el equipo duraría un mayor tiempo ya que generalmente el equipo falla por falla del sello mecánico el cual con el tiempo comienza a tener filtraciones y afecta la zona con humedad o en otras ocasiones el motor eléctrico se quema, pero una bomba de este tipo en mejores condiciones puede durar un mayor tiempo que lo que este dura actualmente, la expectativa en estas condiciones es de unos 4 meses.



Fuente: Elaboración propia. Fotografía obtenida de Minera Mantos Blancos, (2024).

Figura 2-6 Bomba del sistema supresor.

2.2.2 Integridad mecánica del sistema

Como podemos ver en la siguiente figura 2-7, así se encuentran actualmente instaladas las boquillas en terreno, teniendo 12 por cada chancador, como se puede

apreciar en la imagen el material húmedo se va compactando en el faldón y así mismo este se compacta en el borde del muro haciendo más compleja la limpieza en las mantenciones de los chancadores.



Fuente: Elaboración propia. Fotografías obtenidas de Minera Mantos Blancos, (2024).

Figura 2-7 Imagen de las toberas instaladas en terreno.

La figura 2-8 que se encuentra a continuación, muestra la condición actual en terreno como estas boquillas no alcanzan a abarcar toda la zona para poder mitigar la polución, ya en el centro de la imagen podemos comprobar como el alcance de las boquillas no es lo suficiente y solo humecta la mitad del área correspondiente, por otro lado en el lado derecho podemos ver la vista desde afuera cuando el camión descarga y al no estar cerrada la estructura la polución es liberada a la atmósfera y el viento ayuda a que esta polución se desplace a otros sectores, además de no permitir el paso ya que esto entorpece demasiado la visión y la respiración



Fuente: Elaboración propia. Fotografías obtenidas de Minera Mantos Blancos, (2024).

Figura 2-8 Condición de operación.

La figura 2-9 muestra cómo queda la parte del eje flotante del chancador primario, al ensuciarse las válvulas por la calidad del agua y la sedimentación de las tuberías estas boquillas quedan chorreando agua al no cerrar completamente la membrana, producto de esto el agua desliza por el muro y al llegar abajo esta pasa por la troya del chancador comenzando a filtrar el agua más abajo y la zona que muestra la figura con una humedad que dificulta el acceso al sector y haciéndolo riesgoso ya que por un mal movimiento o un deslizamiento la persona puede caer y golpearse más si transita con algún equipo o componente de peso. Por otro lado, esta humedad aparte de dificultar el acceso afecta los componentes mecánicos que se encuentran ahí haciendo que estos se deterioren más rápido al igual que las estructuras.



Fuente: Elaboración propia. Fotografías obtenidas de Minera Mantos Blancos, (2024).

Figura 2-9 Condiciones subestándares en el eje flotante del chancador.

Como podemos ver en la figura 2-10, así quedan las membranas de las válvulas solenoides por la calidad del agua y la sedimentación de la tubería lo cual no permite que esta cierre completamente el paso del agua cuando corresponda provocando los daños antes mencionados, además podemos que los filtros quedan con un aglomerado de material compactado lo cual finalmente termina obstruyendo el paso del agua por acumulación de material, no existe un tiempo establecido en el cual esto pueda ocurrir todo depende del agua que proviene del estanque de alimentación esto puede ocurrir en una semana como en un mes, pero la suciedad en membranas es recurrente



Fuente: Elaboración propia. Fotografías obtenidas de Minera Mantos Blancos, (2024).

Figura 2-10 Membranas y filtros del sistema.

2.2.3 Integridad mecánica en tuberías y estanques

El estanque de agua que alimenta este sistema se encuentra en la planta concentradora por lo cual existe una línea que cruza el cerro para poder alimentar la torre de CHP, la calidad del agua proveniente del estanque es relativa a veces está bastante contaminada y en otras ocasiones es un poco mejor.

La figura 2-11 muestra condiciones de operación con baja integridad mecánica, en donde se observa una línea de agua que alimenta una caja multy en la cual producto del estrechamiento en la misma línea y una cantidad de material que proviene de la mala calidad del agua termina obstruyendo la línea y se debe introducir algún objeto con el fin de despejar la vía y así permitir nuevamente el paso del agua, no es una condición que sea frecuente, pero suele ocurrir cada cierto periodo de tiempo. En el lado derecho de la imagen podemos ver que al limpiar la línea quedan restos de roca y sedimentos en la superficie de la caja.



Fuente: Elaboración propia. Fotografías obtenidas de Minera Mantos Blancos, (2024).

Figura 2-11 Limpieza de una línea obstruida



Fuente: Elaboración propia. Fotografías obtenidas de Minera Mantos Blancos, (2024).





Figura 2-12 Estanque de alimentación (TK-6000).

Las condiciones vistas en terreno evidencian una falta en la integridad mecánica de los equipos y accesorios, como se puede apreciar en la imagen el TK tiene demasiadas líneas conectadas algunas obsoletas y otras vitales para el funcionamiento de la planta y del sistema supresor.

En un determinado momento la cantidad de agua del TK no era suficiente por la cantidad de conexiones y por ciertas horas la cantidad de agua no daba abasto para alimentar el sistema supresor del primario, además como podemos ver esas conexiones llevan más de 50 años y por deterioro a veces presentan válvulas defectuosas, cañerías rotas y otros.

El estanque no tiene hermeticidad y permite el ingreso de contaminantes del medio como agua y polvo, afectando drásticamente la calidad del agua. Para concluir las condiciones de integridad mecánica en operación del sistema, la Tabla 2-2 muestra una tabla donde se definen los equipos con sus principales mecanismos de falla y modos de fallas.

Tabla 2-2 Tabla resumen de integridad mecánica operacional en el sistema de Supresión.

EQUIPO	MODO DE FALLA	MECANISMO DE FALLA
 <p>Bomba del Sistema</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1- Pérdida de presión notoria en el sistema. 2- Fuga de agua por el sello mecánico. 3- Fallo del motor 	<ol style="list-style-type: none"> 1- Contaminación por partículas externas debido a la calidad del agua. 2- Sedimentación provenientes de las cañerías. 3- Exposición a la polución y radiación UV.
 <p>Componentes del Sistema de Supresión</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1- Pérdida de presión notoria en el sistema. 2- Paso de agua por las toberas cuando el sistema se encuentra apagado. 3- Boquillas obstruidas. 4- Membranas de las válvulas solenoides dañadas o con desgaste. 5- Filtros saturados. 	<ol style="list-style-type: none"> 1- Contaminación por partículas externas debido a la calidad del agua. 2- Sedimentación provenientes de las cañerías. 3- Desgaste en las cañerías por incrustaciones de magnesio de calcio
 <p>Cañerías y Líneas del Sistema de Supresión</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1- Pérdida de presión notoria en el sistema. 2- Obstrucción completa en las líneas. 3- Fugas en diferentes puntos de las cañerías 	<ol style="list-style-type: none"> 1- Desgaste por los años de servicio y exposición al ambiente. 2- Sedimentación proveniente del TK. 3- Desgaste en las cañerías por incrustaciones de magnesio de calcio
 <p>TK-6000</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1- Acumulación de material en la base del TK. 2- Válvulas y juntas con filtraciones y desgaste. 3- Exceso de conexiones o líneas en desuso. 	<ol style="list-style-type: none"> 1- Desgaste por los años de servicio y exposición al ambiente. 2- Sedimentación proveniente de la planta de tratamiento

Fuente: Elaboración propia. Fotografías obtenidas de Minera Mantos Blancos, (2024).

Para finalizar, la Tabla 2-2 provee la evidencia necesaria para alcanzar el objetivo específico número dos, al identificar la calidad del agua como la causa principal del bajo rendimiento del sistema. Al examinar los datos, se observa claramente cómo la mala calidad del agua impacta de forma perjudicial a cada uno de los componentes, lo que impide una operación eficiente. Basándonos en este hallazgo, se justifica la necesidad de una mejora significativa que consiste en la instalación de un sistema de filtrado de agua que cumpla con los requisitos técnicos de todos los elementos del sistema, garantizando así un rendimiento optimizado y sostenido.

**CAPÍTULO 3: PROPUESTA DE MEJORA Y CONSIDERACIONES
TÉCNICO -ECONÓMICAS.**

3 PROPUESTA DE MEJORA Y CONSIDERACIONES TÉCNICO - ECONÓMICAS

3.1 PROPUESTA DE MEJORA (A)

Una vez definidos los aspectos más relevantes del sistema en la planta, junto con las variables relacionadas con las mediciones específicas, analizadas en los capítulos anteriores, es posible plantear una propuesta de mejora, que permita obtener resultados visibles en la operación y reducir los niveles de polución registrados.

Se presentan dos alternativas para mejorar la calidad del aire en la planta y optimizar su rendimiento mediante ajustes en los procesos de mantenimiento y operación: la primera, ofrecida por la empresa internacional especializada Raring Corp (Propuesta A), y la segunda, una propuesta de desarrollo propio que se plantea como una opción más económica frente a los costos asociados a la solución comercial (Propuesta B).

A continuación, en la figura 3-1, se presenta una cotización entregada por la empresa Raring Corp. Esta empresa trabaja en el rubro de los sistemas de control de polvo, basados en tecnología Fog, ver anexo (D), desde 1984 y cuenta con más 700 instalaciones operativas alrededor del mundo. Considerando su amplia experiencia y trayectoria en el rubro, esta sería una opción ideal para implementar mejoras en cualquier instalación relacionada con la supresión de polvo.

Precios y Resumen por punto
 Los precios cotizados en la tabla corresponden a valores en dólares americanos Ex Works, Santiago.

Area de Control de Polvo	Cant.	Aire SCFM @ 70-110 PSI	Agua GPM @ 20-50 PSI	Precio Total
Tolva de Descarga				
Sistema Fog	1	960	16	\$ 122.950,96
MSCP-EIP				
Barras de boquillas con 12 boquillas FP10 cada una	10			
No se incluye:				
Cañerías				
Skid de bombas				
Compresor				

Condiciones de Pago

Terminos
20% neto a 30 días luego de enviada la Orden de Compra
20% neto a 30 días desde la emisión de planos para aprobación
60% neto a 30 días desde el aviso que la carga está lista para embarcarse

Fuente: Proveedor de repuestos en Mantos Blancos, (2024).

Figura 3-1 Cotización por parte de Raring Corp

3.1.1 Consideraciones de la cotización

Esta propuesta considera lo siguiente:

- Panel MSCP-EIP para los sistemas de Supresión (ADSTM Dry Fog).
- Instalación de 120 boquillas FP10 de neblina seca, 60 para cada tolva. montadas en 10 barras de boquillas con activación local.
- El sistema cuenta con entrada analógica para activación manual.

El panel propuesto es un desarrollo propio de la empresa, diseñado específicamente para este tipo de instalaciones. Las barras con boquillas utilizadas son similares a las empleadas en otras aplicaciones de la compañía, aunque integran un método técnico particular que se detallará más adelante. La activación manual del sistema constituye un mecanismo habitual que permite realizar pruebas durante las labores de mantenimiento.

Para el correcto funcionamiento del sistema, Raring Corp establece ciertos requisitos en cuanto a la calidad del agua. Específicamente, se indica que el agua debe ser filtrada antes de ingresar al sistema, y la empresa se hará responsable de prevenir incrustaciones antes del punto de entrada. Además, el pH del agua debe mantenerse en un rango entre 5 y 7, la dureza debe ser baja, y no deben existir partículas abrasivas que puedan dañar los componentes del sistema.

Por otro lado, Raring Corp requiere una presión de agua operativa entre 3 a 5 bar para el correcto funcionamiento del sistema. Ellos tienen incluido sistema de bombas para los sistemas de inyección de agua en la tasa de chancado, pero este debe ser incorporado como un ítem adicional en la cotización. Para el sistema de distribución de agua, se exige el uso de cañerías fabricadas en acero inoxidable, plásticas u otro material no corrosivo para el Sistema de distribución. En cuanto al Sistema de distribución de aire, Raring Corp, recomienda cañerías galvanizadas y además se establece explícitamente que no se debe utilizar acero negro en ninguna parte del sistema de cañerías de agua, debido a su susceptibilidad a la corrosión y formación de incrustaciones.

En este tipo de proyectos esta empresa es la mejor que se puede encontrar para mejorar las descargas de material en chancado primario, chutes, traspasos de correas, alimentadores y cualquier equipo que genere polución.

3.1.2 Comparaciones técnicas.

El Proyecto A requiere el cumplimiento de una serie de requisitos clave para asegurar su correcto funcionamiento a largo plazo. Como se resume en la siguiente tabla, la omisión o incumplimiento de estos parámetros podría resultar en el deterioro prematuro del sistema y en la pérdida de cualquier garantía aplicable. Asimismo, cualquier modificación de estos requisitos implicaría un aumento significativo en el costo total del proyecto, debido a la necesidad de implementar y ajustar todo el conjunto de componentes.

Tabla 3-1 Comparación de requisitos y condición actual.

TABLA DE COMPARACIÓN.		
Evaluación.	Requisitos previos.	Condición de terreno.
Ítem	Proyecto A	Condición actual.
PH del Agua.	5 a 7	Mayor a 7
Filtrado.	Previamente filtrado.	Sin filtrado óptimo.
Dureza.	Baja.	Alta.
Partículas.	Sin partículas abrasivas.	Con partículas abrasivas.
Presión de trabajo.	3 - 5 (bar)	3 - 8 (bar)
cañerías.	Acero inoxidable, plásticas o no corrosivas	Acero al carbono.

Fuente: Elaboración Propia (2024)

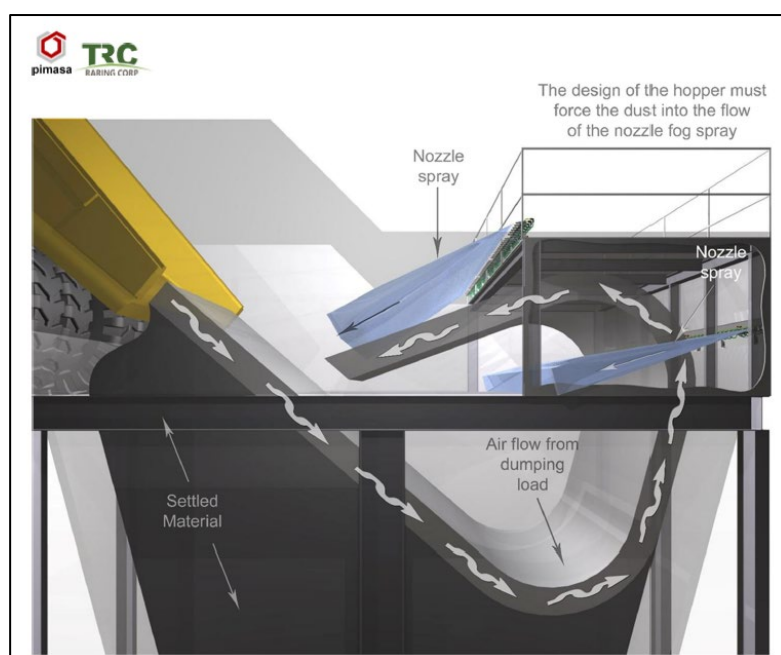
3.1.3 Características técnicas de la instalación

En la Figura 3-2 se puede observar cómo Raring Corp instala las barras con boquillas, lo cual responde a un diseño técnico cuidadosamente planificado y no a una disposición aleatoria. Esta configuración se justifica por la gran cantidad de material que descarga el camión, ya sea en una o dos etapas, lo que genera una presión positiva significativa. Esta presión impulsa las partículas hacia arriba con alta energía, provocando una intensa liberación de polvo al ambiente.

El diseño de la tolva debe forzar el flujo del polvo hacia las boquillas y cómo podemos ver en la imagen se encuentran dos líneas, una inferior y una superior. La línea inferior actúa humectando y desviando el flujo hacia el interior de la tolva, mientras que la línea superior retiene las partículas que podrían escapar, logrando así una mitigación

casi total de la polución. Este principio técnico justifica la disposición específica de las boquillas en el sistema.

Por último, la cantidad de boquillas que consideran y la presión del fluido para poder actuar y así mitigar la polución representa factores significativos en términos económicos, por lo que el costo de implementación del sistema es considerable. Dado el nivel actual de producción de Mantos Blancos, es poco probable que se adopte esta solución en el corto plazo, ya que el montaje e instalación del sistema podría extenderse por aproximadamente dos meses, sin considerar el tiempo adicional requerido para el levantamiento, planimetría y otras evaluaciones técnicas previas.



Fuente: Proveedor de repuestos en Mantos Blancos, (2024)

Figura 3-2 Ejemplos de deflectores de flujo.

3.2 PROPUESTA DE MEJORA (B)

En este apartado se presenta una propuesta de mejora de desarrollo propio. En el mercado, “Raring Corp” ofrece un sistema de humectación directa, para los camiones que llevan el material y descargan en los chancadores primarios. A este sistema se le denomina “Deluge”. Durante el proceso de consulta con los proveedores de Pimasa, empresa encargada del suministro de repuestos en Mantos Blancos y representante comercial de Raring Corp, no fue posible obtener información técnica detallada sobre el tipo específico de boquillas, utilizadas en dicho sistema. Esto se debe a que la empresa protege su tecnología, evitando que terceros puedan replicar sus sistemas de forma independiente.

En la imagen que se presenta a continuación, se puede observar el sistema "Deluge", mencionado anteriormente.



Fuente: Proveedor de repuestos en Mantos Blancos, (2024).

Figura 3-3 Sistema Deluge.

Este sistema "Deluge", da una solución clara para nuestro objetivo específico número tres como un sistema de mitigación de polvo que ayuda a reducir el porcentaje de contaminación actual durante la descarga de los camiones el cual es fácil de mantener y es un proyecto sencillo que consiste en unas boquillas similares a las de red contra incendios, el fin de esto es poder humectar la mayor cantidad posible de la carga y así todo el material fino, que contiene al descargar la tolva, no libere tanta polución, por la presión positiva que este genera.

La posibilidad de replicar internamente un sistema similar al "Deluge", es técnicamente viable y considerablemente más económica. En términos de tiempo, su implementación en un chancador podría completarse en menos de dos días, requiriendo únicamente la adquisición de materiales básicos, la participación de dos mecánicos para la instalación y el apoyo de un técnico eléctrico, encargado de realizar las conexiones necesarias. Este último se encargaría de programar la activación del sistema, la cual se ejecutaría con una limitación temporal, generalmente asociada al tiempo de descarga del material.

Aunque la instalación de este sistema en Mantos Blancos no replicaría en su totalidad el diseño de las soluciones ofrecidas por empresas especializadas, como Raring Corp, su implementación podría contribuir significativamente, a la mitigación de polución en el área. Actualmente, el sector cuenta con barras instaladas que utilizan boquillas FP10, por lo que la incorporación de este sistema adicional podría mejorar la eficiencia del control de polvo, con una estimación preliminar de reducción, superior al 50%.

En cuanto a la propuesta original de Raring Corp, esta incluye la modificación estructural de la tolva y su encapsulado. Sin embargo, dichas estructuras, al ser fijas o de diseño robusto, pueden representar una interferencia durante las labores de mantenimiento de los chancadores primarios. Estas maniobras de mantenimiento suelen requerir el uso de grúas móviles para el retiro de componentes pesados, lo cual se vería obstaculizado por encapsulados (sellado con gomas) voluminosos o de difícil desmontaje. Por otro lado, si se optara por encapsulados livianos y delgados, estos serían vulnerables a las condiciones climáticas y al impacto del material, reduciendo su vida útil y dificultando la visibilidad del área de trabajo.

Debido a estos factores, tiempo de instalación, costo elevado, impacto en las labores de mantenimiento y dificultades operativas, es poco probable que la propuesta de Raring Corp sea adoptada en su totalidad en el corto plazo.

A continuación, podemos ver el lugar donde se posiciona la grúa móvil, para ejecutar las maniobras y retirar componentes del chancador, y se puede ver claramente la diferencia entre el entorno actual y el tipo de instalación implementado, por empresas externas.



Fuente: Elaboración propia. Fotografía obtenida de Minera Mantos Blancos, (2024).

Figura 3-4 Chancado Primario en Mantos Blancos

Desde una perspectiva personal y técnica, consideramos que la implementación de este sistema de forma interna representa la mejor alternativa para la empresa. Se cuenta con el personal calificado y con el conocimiento técnico necesario, para llevar a cabo un proyecto de estas características de manera eficiente y segura. Esta opción no solo implica un costo significativamente menor, sino que también ofrece una solución rápida y adaptable a las condiciones operativas actuales, sin generar interferencias mayores en los procesos de mantenimiento o producción.

3.3 CONSIDERACIONES TÉCNICO-ECONÓMICAS

En los apartados siguientes, se detallarán los gastos asociados a la implementación del sistema de mejora propuesto, incluyendo tanto los costos de materiales, como los de mano de obra. Finalmente, se presentará una comparación entre ambas propuestas, la solución interna y la ofrecida por Raring Corp, considerando tiempos de ejecución y presupuesto estimado, con el objetivo de evaluar su viabilidad técnica y económica.

3.3.1 Gastos en el Personal que Realizará el Proyecto

En la tabla 3-2 se presenta el presupuesto estimado correspondiente a la mano de obra necesaria para la instalación del sistema en una línea de producción. Es importante considerar que la planta cuenta con dos líneas de chancado primario (Línea 1 y Línea 2), por lo que este cálculo se refiere únicamente a una de ellas.

El presupuesto contempla las actividades clave requeridas para llevar a cabo el proyecto, incluyendo tareas mecánicas y eléctricas esenciales. En el área de chancado, se dispone de dos especialistas con la experiencia técnica necesaria para ejecutar este tipo de trabajos, lo que permite aprovechar recursos internos sin recurrir a servicios externos.

Cabe destacar que la planificación de esta instalación ha sido diseñada considerando la forma en que se realizan habitualmente las mantenciones de los chancadores. Por lo tanto, la ejecución del proyecto no interferirá con las maniobras ni obstaculizará futuros trabajos de mantenimiento en estos equipos.

Tabla 3-2 Presupuesto en mano de obra.

PROYECTO DE SUPRESIÓN PARA LAS TOLVAS DE LOS CAMIONES.									
ACTIVIDAD	PERSONAL			TIEMPO			VALOR		
	Mec. MB	Sold MB	Elec MB	Duración (horas)	HH (hrs)	Hora Inicio	Costos HH (CLP)	Costos HH (USD)	Total, USD
Instalación de líneas de agua en el punto.	1	1	0	8	16	9:00:00	\$ 7.096	\$ 7,44	\$ 118,98
						18:00:00			
Instalación de boquillas en viga superior	2	0	0	4	8	10:00:00	\$ 7.096	\$ 7,44	\$ 59,49
						14:00:00			
Instalación de válvulas y componentes del sistema.	2	0	0	12	24	9:00:00	\$ 7.096	\$ 7,44	\$ 178,48
						20:00:00			
Instalación de componentes eléctricos y programación	0	0	1	12	12	10:00:00	\$ 7.096	\$ 7,44	\$ 89,24
						20:00:00			
Pruebas de la instalación y otros.	2	0	0	4	8	9:00:00	\$ 7.096	\$ 7,44	\$ 59,49
						20:00:00			
TOTAL				40	68	-	\$ 7.096	\$ 7,44	\$ 505,68

Fuente: Elaboración Propia, (2024).

Si se evalúa el costo total de mano de obra, para realizar la mejora en ambas líneas de producción, el presupuesto asciende a 1.010 dólares, con un tiempo estimado de ejecución de cuatro días. Esta intervención permitirá, una reducción significativa de la polución en el área, ya que el sistema de humectación actúa de manera eficaz durante la descarga: la carga superior es humectada al momento de caer, lo que, a su vez, genera que la carga inferior, también reciba humedad. De este modo, se evita la caída de material seco, reduciendo notablemente la emisión de polvo en suspensión.

En cuanto a los materiales, el costo estimado para realizar la mejora en una línea de producción es de 927,40 dólares. Por lo tanto, al considerar ambas líneas, el total asciende a 1.854,80 dólares. Este valor resulta considerablemente accesible, si se compara con los beneficios potenciales que la implementación del sistema puede ofrecer en términos de control ambiental, cumplimiento normativo y mejora en las condiciones operativas.

Tabla 3-3 Presupuesto en materiales.

CUBICACION DE MATERIALES PARA MEJORAR UNA LINEA DE PRODUCCION.						
Cantida d	Unida d.	Materiales	Descripción	Valor (CLP)	Valor (USD)	Valor total (USD)
1	UN.	Válvula solenoide.	1/2" NC ASCO 240 V.	\$314.607	\$336.63	\$336.63
6	UN.	Boquillas Sprinkler.	K 5,6/68 C° - NPT HE 1/2".	\$18.907	\$20,23	\$121.38
3	UN.	Válvula de bola.	1/2" NPT x 1/2" NPT.	\$28.598	\$30,60	\$91.80
1	UN.	Manómetro.	0-160 PSI. DIAL RARING.	\$34.972	\$37.42	\$37.42
30	MT.	Flexible 3/4".	Flexible de baja presión	\$5.300	\$5.62	\$168.60
2	UN	Conectores	Acoplamiento de Flexible	\$13.200	\$14.00	\$28.00
1	UN.	Soldadura.	Soldadura 7018 1/8", otros.	\$22.220	\$23.57	\$23.57
1	UN.	Otros.	Conectores.	\$112.150	\$120.00	\$120.00
Valor Total						\$ 927,40

Fuente: Elaboración Propia, (2024).

Adicionalmente, es necesario considerar la eventual reposición de componentes en caso de fallas, ya que el sistema estará expuesto a un ambiente operativo hostil. Entre los posibles puntos críticos, se encuentran las válvulas solenoides, las cuales podrían presentar fallas asociadas a la calidad del agua o a la acumulación de partículas. No obstante, el costo de estos repuestos es bajo, lo que permite realizar reparaciones de manera rápida y sin afectar significativamente el presupuesto, ni la disponibilidad operativa del sistema. Esta característica refuerza la viabilidad de la propuesta interna, ya que garantiza mantenibilidad y continuidad operativa con recursos internos.

3.3.2 Especificaciones técnicas de boquillas Sprinklers

Las boquillas sprinklers operan con una presión mínima de 7 psi, mientras que la presión actual de la planta es de 120 psi. El caudal de estas boquillas es variable, oscilando entre 2.5 m³/h y 16 m³/h, según la regulación de la presión deseada. Los modelos estándar, RD020, RD021 y RD030, permiten determinar el consumo a través de tablas de referencia. Estas boquillas tienen un alcance máximo de 3 metros y un radio de 2.5 metros, dimensiones que se ajustan perfectamente a los requisitos del proyecto, dado que la tolva del camión tiene un ancho de 4 metros y la distancia de instalación no supera los 3 metros.

En este contexto, el tamaño de la gota no es el factor principal, ya que el objetivo es humectar la carga antes de su caída para reducir la polución y mejorar la visibilidad del personal, en lugar de decantar el material particulado mediante un tamaño de gota específico.

ESPECIFICACIONES	
Factor K	K80 (K5.6)
Tamaño orificio estándar	15mm (1/2")
Tamaño rosca	½" NPT (R1/2" – ½" BSP T bajo pedido)
Presión de trabajo máx.	12 bar (175psi)
Operación de trabajo mín.	0.5 bar (7psi)
Prueba de presión de fábrica	100% a 34 bar (500psi)
Peso	57gr (2oz)
Equipado con protector de bulbo	Quitar después de instalar el rociador

Fuente: <https://grupodeincendios.com/wp-content/uploads/2019/09/Catalogo-fire-fighting-2019-muestra03.pdf>

Figura 3-5 Especificaciones boquillas Sprinklers.

3.3.3 Evaluación de Filtrado en la Planta

Lo último que debe contemplar este proyecto, aunque no es estrictamente necesario debido a la calidad constante del agua utilizada, es la incorporación de un sistema de filtrado de alta eficiencia. Si bien se ha trabajado sin mayores inconvenientes hasta el momento, incorporar un filtro auto limpiante de alta calidad contribuiría a reducir aún más el riesgo de fallas en componentes como las válvulas solenoides, prolongando la vida útil del sistema y disminuyendo los costos de mantenimiento y reposición a largo plazo.

En este sentido, la empresa Forsta Filters ofrece soluciones avanzadas en sistemas de filtrado auto limpiante, adecuados para ambientes industriales. En la siguiente imagen se presenta un ejemplo del tipo de sistema que podría incorporarse como mejora complementaria al proyecto.



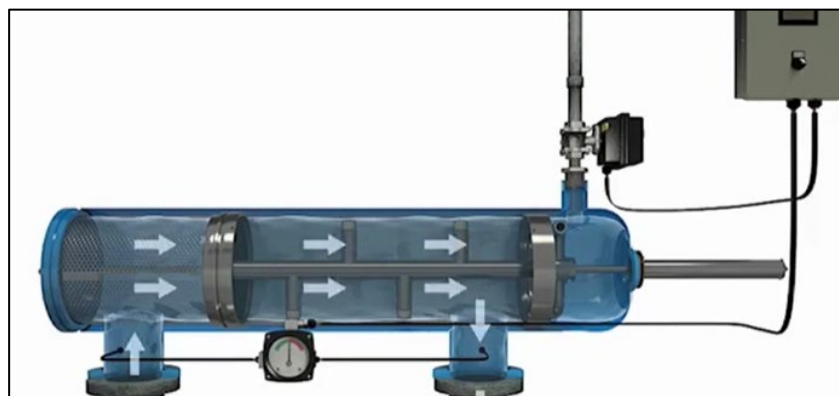
Fuente: [Forsta Filters: Automatic Self Cleaning Water Filters](#)

Figura 3-6 Filtros serie 180.

La serie 180 de filtros de agua industriales se distingue por un proceso de filtración en dos etapas. Cada sistema de filtración consta de un cedazo grueso y de uno fino. El cedazo grueso se encarga de filtrar los desechos y partículas grandes del agua. Mientras que el cedazo fino purifica el agua a la calidad deseada. Además de esto se puede instalar a cualquier cañería recta mediante bridas.

Características de los Filtros:

- Flujo/Caudal: 15 – 7,350 gpm
- Duración del ciclo de lavado: 6 – 20 segundos
- Tamaño de la válvula de drenaje: una de 1" o 2"
- Grado de filtración: 5 μ m – 4000 μ m
- Temperatura: 210°F
- Volumen de Descarga: 15 – 110 galones por retro-lavado
- Presión de operación: 35 – 150 psi
- Material: Acero inoxidable, acero al carbono o inoxidable dúplex



Fuente: [Forsta Filters: Automatic Self Cleaning Water Filters](#)

Figura 3-7 Funcionamiento del filtro serie 180

Lo interesante de estos filtros, como se muestra en la imagen anterior, es su funcionamiento altamente eficiente y automatizado. Al ingresar el fluido, este pasa primero por una malla metálica de retención de partículas gruesas y luego por una segunda malla, que captura las partículas finas. Cuando el filtro alcanza un nivel de saturación elevado, se genera una diferencia de presión, entre la cañería de entrada y la de salida.

Este diferencial es detectado por un controlador, ubicado al costado derecho del sistema, el cual activa el mecanismo de limpieza automática.

El proceso se inicia con la apertura de la válvula de descarga, permitiendo que un pistón interno, accione unas palas que se desplazan a lo largo de las mallas, eliminando las impurezas retenidas y expulsándolas por la válvula de descarga. Una vez que se restablece el equilibrio de presión, entre la entrada y la salida, el pistón retorna a su posición inicial y la válvula se cierra, reanudando el funcionamiento normal del filtro.

Es importante destacar que todo este proceso se realiza sin interrumpir el flujo continuo del sistema, lo que permite mantener la operación sin detenciones ni pérdida de eficiencia.

Tener un sistema como este, permite no realizar tantos cambios de las membranas en las válvulas solenoides y, además, evitar las incrustaciones de partículas en las cañerías, lo cual con el tiempo las deteriora, hasta el punto de evidenciar roturas o simplemente el estrechamiento interno del diámetro en las cañerías, lo cual en ocasiones evita el paso del fluido, por lo cual se deben limpiar y así poder retomar el paso del fluido.

El coste de este filtro varía desde los 4.000 dólares hasta los 12.000 dólares, según la serie de este o el modelo a elegir, según las características de terreno ver anexo (E, F)

Para concluir, se puede realizar una comparación general que permita evaluar, cuál de las dos opciones, resulta más viable desde el punto de vista técnico, operativo y económico. La propuesta interna, representa tan solo, un 2,3 % del costo total del proyecto, ofrecido por la empresa Raring Corp. Además, su ejecución requiere únicamente 4 días de instalación, sin interferir con la continuidad de la producción de material. En cambio, la alternativa de Raring Corp, contempla un plazo de implementación de aproximadamente 56 días, durante los cuales se vería afectada la producción, en gran parte del proceso.

Si bien Raring Corp. es una empresa con amplia experiencia y liderazgo en el control de emisiones de polvo, y su solución garantiza una mejora significativa, es importante considerar que los niveles actuales de polución en la planta se encuentran dentro de los rangos permitidos, por la normativa vigente. En este contexto, la propuesta interna, aunque de menor escala, ofrece una mejora considerable en la eficiencia del sistema, a un costo mucho menor y con una menor afectación operativa.

Por otra parte, la solución de Raring Corp. implica la instalación de un elevado número de boquillas, lo cual incrementa los costos futuros de mantenimiento y repuestos, además de requerir más tiempo y esfuerzo físico por parte del personal técnico, durante las tareas de limpieza. En contraste, la opción interna añade únicamente dos líneas adicionales a las ya existentes en el sistema, por lo que su impacto, en los tiempos de mantención es mínimo y manejable.

Tabla 3-4 Comparación de proyectos.

Comparación de proyectos.		
Evaluaciones.	Opción A	Opción B
Valor total (USD)	\$122.950,96	\$ 2.866,16
Valor con filtrado para la opción B (USD)	-	\$ 13.876,16
Tiempo de Instalación (días).	56	4
Costos por detención planta, 1 (hr) de detención concentradora \$ 42.000 (USD), considerando 30 días.	\$ 30.240.000	\$ 0
¿Interviene con la producción?	SI	NO
Retrasa la mantención	SI	NO
Porcentaje de mejora	98%	30 – 50 %
Costos post instalación	Intermedios	Bajos
Aumento en el tiempo de mantención	Alto	Bajo

Fuente: Elaboración Propia.

3.4 DATOS FINALES DE MAYOR IMPORTANCIA

En los apartados siguientes, encontraremos los datos que permiten decidir qué proyecto deberíamos elegir en base a costos y beneficios respectivamente, además como proceder según los modos de fallas propios de este sistema y un plan de mantenimiento preventivo que evitará llegar a un evento crítico y si eventualmente se llega a esto se procederá según el plan de acción correspondiente.

3.4.1 Impacto en la reducción de MP

Mantos blancos produce una cantidad de 15.664 toneladas de material particulado, esto corresponde a la sumatoria de todos sus puntos con emisiones de material particulado al aire y puede no ser una medición tan precisa ya que generalmente las mediciones o evaluaciones que realizan las instituciones que se encargan de fiscalizar como (SNIFA, SMA, SGS, Sernageomin) no son precisamente en terreno sino en un punto más alejado.

Por esto este valor no sirve para cuantificar cuanto mejorara en términos porcentuales la polución, pero si evaluamos en el punto que se desea mejorar la condición tendremos la siguiente tabla.

Tabla 3-5 Mitigación esperada de MP

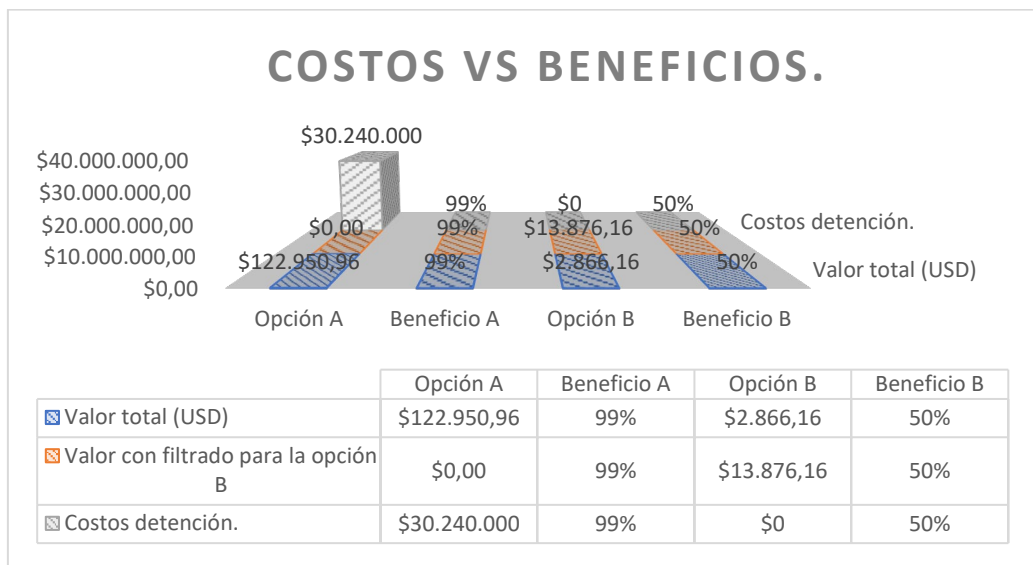
MITIGACIÓN ESPERADA DE MP.		
	Proyecto A	Proyecto B
% Emisiones retenidas actualmente sin proyectos.	35 - 45 %	35 - 45 %
% Esperado o de mejora.	90 - 100 %	30 - 50 %
Valor (USD)	\$ 122.950,96	\$ 2.866,16
Consideraciones.	Cambio de todos los componentes del sistema actual y estructuras.	Agregado al sistema actual enfocado a la tolva de los camiones.

Fuente: Elaboración Propia.

3.4.2 Costos vs beneficio

En el siguiente grafico se puede apreciar los costos en cada uno de los tres casos diferentes tanto para A como para B y además el porcentaje de beneficio el cual es fijo para A, con un 99% independiente según corresponda el valor de costo que se está evaluando y así mismo para B con un 50% en un caso optimista independiente según corresponda el valor de costo que se está evaluando.

Gráfico 3-1 Costos vs beneficio.



Fuente: Elaboración Propia.

3.4.3 Propuesta de un plan de acción según modos de falla

En la siguiente tabla podemos visualizar los modos de falla principales en los equipos y cómo podemos proceder según la criticidad del evento de una forma rápida y segura, tendiendo esto presente no se actuará de forma imprevista y riesgosa.

Tabla 3-6 Modos de falla y plan de acción según criticidad.

MODOS DE FALLA Y PLAN DE ACCION.			
Equipos.	Bomba del Sistema	Cañerías del Supresor.	Componentes del sistema (toberas, filtros, boquillas, válvulas)
Modos de falla.	Perdida de presión notoria	Desgaste por el tiempo	Perdida de presión notoria
	Fuga por el sello mecánico.	Sedimentación, obstrucciones o fugas.	Boquillas obstruidas o con fuga.
	Fallo del motor.		Filtros saturados.
Evaluación de Criticidad y Acciones			
Bomba del Sistema	Crítica (inmediata): Fuga grave, pérdida total de presión, motor recalentado.	Acción: Detener el equipo y coordinar el reemplazo del componente dañado (sello, rodamientos, motor).	
	Media (programada): Caída gradual de presión, fugas leves.	Acción: Programar el mantenimiento o reemplazo en el próximo paro del equipo.	
Cañerías del Supresor.	Crítica (inmediata): Fuga grande que afecta la operación.	Acción: Reparación o reemplazo urgente del tramo de tubería.	
	Media (programada): Fugas menores o goteos	Acción: Programar la reparación en la próxima ventana de mantenimiento.	
Componentes del sistema (toberas, filtros, boquillas, válvulas)	Crítica (inmediata): Filtro saturado que impide el flujo, válvulas dañadas o toberas totalmente obstruidas.	Acción: Reemplazo inmediato del filtro o limpieza de válvulas o toberas, para restablecer el servicio.	
	Media (programada): Disminución leve del flujo.	Acción: Monitorear y programar la limpieza o cambio en la próxima semana.	

Fuente: Elaboración Propia.

3.4.4 Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo

En la siguiente imagen podemos ver un plan de mantenimiento preventivo básico basado en el plan de acción según la criticidad del evento, si seguimos estas inspecciones como se indica diariamente y otras semanalmente no tendremos imprevistos en el sistema de forma crítica que puedan afectar el rendimiento durante su funcionamiento, solo podríamos llegar a un evento de criticidad media y muy esporádicamente un evento crítico

el cual ya estará visualizado y se estará preparado para poder intervenir oportunamente basándonos en el plan preventivo y el plan de acción visto anteriormente.

Tabla 3-7 Plan de mantenimiento preventivo.

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EL SISTEMA SUPRESOR DE POLVO.																															
Evaluar los siguientes criterios y en base al plan de acción según criticidad.		BUENO: B					MALO: M					CRITICO: C					MEDIO: M														
Tareas Diarias.	Mantenimiento Semanal	Semana 1					Semana 2					Semana 3					Semana 4														
Inspección Diaria Bomba del sistema	Tareas de Mantenimiento Semanal	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Verificar la presión de descarga	Monitorear el consumo de energía (amperaje)	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
Inspección visual de fugas en el sello y conexiones	Inspeccionar el nivel y estado del lubricante si aplica.	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	M	M	B	B	B	B	B	
Escuchar ruidos anormales.	Verificar la temperatura del motor y los rodamientos.	B	B	B	B	B	B	B	B	MC	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
Inspección Diaria cañerías del supresor.	Tareas de Mantenimiento Semanal	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Inspección visual para detectar cualquier fuga o goteo	Inspeccionar el estado externo de las tuberías (corrosión, daños).	B	B	B	B	B	M	M	B	B	B	B	B	B	B	B	B	M	M	B	B	B	B	B	B	M	M	B	B	B	
Verificar la integridad de las juntas, conexiones, presión manométrica.	Realizar una purga de las líneas para eliminar sedimentos.	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
Inspección Diaria componentes del sistema (toberas, filtros, boquillas, válvulas).	Tareas de Mantenimiento Semanal	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Revisar el patrón de rociado de las toberas.	Regular la presión y flujos a decudamente.	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
detectar obstrucciones o fugas.	Inspeccionar las membranas y válvulas solenoides.	B	B	B	B	B	MC	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	MC	B	B	B	B	B	
Verificar la presión de entrada y salida del sistema de filtrado.	Limpiar o reemplazar los filtros según el nivel de suciedad.	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	MC	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Para la elaboración de este trabajo, fue necesario abordar conceptos provenientes de diversas áreas de la ingeniería, tales como presión positiva, funcionamiento y características técnicas de los sistemas de supresión, mantenimiento industrial, selección de materiales y nivel de mecanizado de componentes, entre otros. Estos conocimientos permitieron comprender la complejidad técnica y justificar los elevados costos asociados a este tipo de soluciones especializadas.

Al analizar la propuesta de la empresa líder en el rubro, Raring Corp., se evidencia que su solución representa, un costo significativamente elevado. Este aspecto se vuelve aún más crítico, si se consideran las implicancias operativas de su implementación, ya que la instalación requiere detener la producción, por un tiempo considerable. En el caso del Molino 8, el más grande de la planta Mantos Blancos, cuya producción alcanza los 40 millones de pesos por hora, cualquier detención no planificada, implica un impacto económico sustancial. Dado que las líneas de producción, solo se detienen por fallas, mantenimiento o ingreso de material no chancable, detenerlas para llevar a cabo este proyecto, añade un costo indirecto muy alto.

En contraste, la propuesta interna (Plan B), permite ejecutar las mejoras utilizando recursos propios, sin necesidad de interrumpir la producción. Las actividades necesarias, pueden llevarse a cabo, durante las ventanas regulares de mantenimiento, sin interferir con el normal funcionamiento de la planta. Esto convierte a la propuesta interna, en una alternativa altamente viable y eficiente.

Si bien los sistemas de Raring Corp, han demostrado ser eficaces y técnicamente robustos en terreno, y aunque no se cuenta con una cuantificación exacta del porcentaje de mejora, que implicaría ejecutar la propuesta interna, la experiencia adquirida y el conocimiento profundo del entorno operativo, permiten estimar un impacto positivo considerable. Además, el conocimiento del equipo interno, sobre las necesidades reales de la empresa, respalda la viabilidad técnica y económica de esta opción.

Finalmente, los beneficios en términos de ahorro de costos, menores tiempos de intervención en mantenimiento, reducción en el uso de repuestos y mejora continua de la calidad del aire, hacen que la ejecución del proyecto interno sea una alternativa recomendable. Aun cuando los niveles actuales de polución están dentro de los límites legales, siempre es posible avanzar hacia condiciones más seguras y eficientes, para el personal, reafirmando el compromiso con la mejora continua en el entorno de trabajo.

BIBLIOGRAFIAS

- Super Intendencia del Medio Ambiente, Gobierno de Chile. Snifa (Sistema Nacional de Información de Fización Ambiental. [en línea] 2021
<<https://snifa.sma.gob.cl/Fiscalizacion/Ficha/1049506>>
- Reglamento de seguridad minera decreto supremo no 132 ministerio de minería. (s. f).
sernageomin. <https://www.sernageomin.cl/>
- Super Intendencia del Medio Ambiente, Gobierno de Chile. Snifa(Sistema Nacional de Información de Fización Ambiental. [en línea] 2024
<<https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/1054582>>
- Industry system [en Línea]<<https://industrysystem.cl/aplicaciones-2/>>
- TRC Raring corp [en línea] <<https://www.raringcorp.com/es>>
- LYON Jorge E. Pimasa [en línea]<https://www.pimasa.com/proyectos_relevantes.html>
- Capstone Copper [en línea] <<https://capstonecopper.com/>>
- Sierralta (expertos en protección contra incendios) [en línea]<<https://www.sierraltapci.cl/productos-pci/sprinkler/sprinkler-pendent-k-5668-c-npt-he-12/166/>>
- Forsta Filters (Self cleaning wáter filters) [en línea] <<https://es.forstafilters.com/filtros-serie-180/>>

ANEXOS

ANEXO A

Tabla A-1 *Componentes de una caja multy.*

LISTADO DE COMPONENTES EN CAJA MULTY									
Nº	Código	N.P	Denominación.	X Multy	Total	Precio Unitario (usd)	Precio Unitario (CLP)	Valor por caja equipada	
1	S/N	210007	Caja metálica 30 X 36 X12 NEMA 3R.	1	6				
2	4003591	61	Manómetro 0-160 PSI. DIAL RARING.	3	18	37,42 \$	27.024 \$	81.071	
3	4052541	2851	Manifold 2851 TRC. DELRIN 2X1,75X4,5,4@1/2".	4	24	62,31 \$	44.998 \$	179.994	
4	4004562	223	Codo conector 1/2" OD x 1/2" NPT.	16	96	18,58 \$	13.418 \$	214.687	
5	4002547	106	Válvula de bola 1/2" X 1/2".	11	66	30,60 \$	22.098 \$	243.082	
6	4006177	213	Conector recto 1/2" OD x 1/2" NPT.	17	102	15,34 \$	11.078 \$	188.327	
7		206	Filtro de agua 1/2" acero inoxidable (206).	2	12				
7.1	4001898	211	Filtro 10 micrones.	2	12	10,47 \$	7.561 \$	15.122	
8	4052544	206	Golilla PVC - perno filtro de agua (P.N.0206).	2	12	1,61 \$	1.163 \$	2.325	
8.1	4052532	210	O'RING para filtro de agua.	2	12	0,94 \$	679 \$	1.358	
9	4003962	221	Conector recto 1/4" OD x 1/8" NPT.	2	12	5,67 \$	4.095 \$	8.189	
10		84	Filtro de aire 1" F-17.	1	6				
11	4052542	318	O'RING para F-17 Norgren.	1	6	0,48 \$	347 \$	347	
11.1		317	Filtro aire 1"Norgren - 1,5" 50 Micrones.	1	6				
11.2		5578-05	Kit de reparación filtro de air F-17 1" 5578-05.	1	6				
12	4009564		Válvula de bola 1/4" hembra NPT.	1	6	26,06 \$	18.820 \$	18.820	
13	4052535	226	Codo conector 1/4" OD x 1/4" NPT (0226 TRC).	1	6	11,60 \$	8.377 \$	8.377	
14		387	Bobina solenoide.	10	60				
15	4052531	117	Válvula solenoide 1/2" NC ASCO 240 V.	10	60	336,63 \$	243.104 \$	2.431.041	
15.1	4001900	395	Kit de reparación Solenoide.	4	120	172,15 \$	124.322 \$	497.286	
16	4002547	106	Válvula de bola 1/2" NPT x 1/2" NPT	5	30	30,60 \$	22.098 \$	110.492	
17	4004976	228	Codo conector 3/8" OD x 1/2" NPT.	10	60	16,56 \$	11.959 \$	119.591	
Valor Total.								\$	4.120.110

ANEXO B

Tabla B-1 *Componentes de una caja prv.*

LISTADO DE COMPONENTES EN CAJA PRV								
N°	Código	N.P	Denominación.	X PRV	Total	Precio Unitario (usd)	Precio Unitario (CLP)	Valor por caja equipada
1	4004979	53	Tubo de nylon 1/2".	N/A	500m	2,18	\$ 1.574	
2	4005232		Conduit 1".	N/A	274.5m	13,59	\$ 9.814	
3	S/N	140	Sealtight conduit connector 1" DIA.	1	8			
4	S/N	21000001	Caja Prv (20 x 16 x 6).	1	8			
5	4003507	103	Válvula de bola 1/8" macho x 1/8" hembra	16	128	18,43	\$ 13.310	\$ 212.953
6	4052535	226	Codo conector 1/4" OD x 1/4" NPT (0226 TRC).	8	64	11,60	\$ 8.377	\$ 67.017
7	4004340	222	Codo conector 1/4" OD x 1/8" NPT.	8	64	7,27	\$ 5.250	\$ 42.001
8	4004341	217	Codo conector 5/16" OD x 1/8" NPT.	8	64	7,76	\$ 5.604	\$ 44.832
9	4003037	341	Manómetro de presión 0 – 30 Psi (Ø 1/4").	2	16	34,96	\$ 25.247	\$ 50.494
10	4052526	88,5	Regulador de agua 1/4" NPT (0088,5 TRC).	2	16	77,18	\$ 55.737	\$ 111.474
11	4052536	229	Codo conector 1/2" OD x 1/4" NPT (0229 TRC).	2	16	14,47	\$ 10.450	\$ 20.900
12	S/N	137	Sealtight conduit connector 3/4" DIA.	8	64			
13	4005336		Conduit 3/4".	N/A	274.5m	331,77	\$ 239.594	
14	4005337	203	Tubo de nylon 5/16".	N/A	500m	1,40	\$ 1.011	
15	4002739	202	Tubo de nylon 1/4".	N/A	500m	1,08	\$ 780	
16	4009570	235	TEE unión rápida OD 1/2" x 1/2" x 1/2".	1	8	21,11	\$ 15.245	\$ 15.245
17	4009563	1116	Manifold de agua /aire 4 salidas.	4	32	56,24	\$ 40.615	\$ 162.459
18	400		Codo conector 1/2" OD x 3/8" NPT.	2	16			
19	4003591	61	Manómetro 0-160 PSI. DIAL RARING.	1	8	37,42	\$ 27.024	\$ 27.024
20	4052528	307	Filtro regulador de aire 3/8" NPT.	1	8	373,47	\$ 269.709	\$ 269.709
20.1	4004219	366	Sistema de drenaje autodrain	1	8	130,02	\$ 93.897	\$ 93.897
20.2	4002152	92	Filtro aire 3/8" B-08 desechable 50 MIC.	1	8	22,01	\$ 15.895	\$ 15.895
21	4052530	105	Válvula de bola 3/8" X 3/8" hembra MAZZER.	1	8	25,89	\$ 18.697	\$ 18.697
22	4041593		Conector recto 1/4" OD x 1/4" NPT.	2	16	5,13	\$ 3.705	\$ 7.409
23	400		Conector recto 1/2" OD x 3/8" NPT.	2	16			
24	4009564		Válvula de bola 1/4" hembra NPT.	2	16	26,06	\$ 18.820	\$ 37.640
25	400		Codo conector 3/8" OD x 3/8" NPT.	1	8			
26	4052540	283	Manifold de agua 3/8" NPT (0283 TRC).	1	8	74,15	\$ 53.549	\$ 53.549
27	4005338	205	Tubo de nylon 3/8".	N/A	500m	1,69	\$ 1.220	
Valor Total.								\$ 1.251.196

ANEXO C

Tabla C-1 *Componentes de una Tobera.*

LISTADO DE COMPONENTES EN TOBERAS.								
N°	Código	N.P	Denominación.	X TOB.	Total	Precio Unitario (usd)	Precio Unitario (CLP)	Valor por Tobera
1	4001892	3113	Boquilla FP2.	1	50	113,85 \$	82.219 \$	82.219
1.1	4005356	843	Boquilla completa FP10.	1	50	113,55 \$	82.002 \$	82.002
2	4003500	916	Adaptador DELRING 1/4" X 5/16".	1	50	60,60 \$	43.764 \$	43.764
2.2	4005507	970	Adaptador HY 1/4" NPT x 1/2" OD.	1	50	64,02 \$	46.233 \$	46.233
3	4003962		Conector recto 1/4" OD x 1/8" NPT.	1	50	5,67 \$	4.095 \$	4.095
3.1	4003499		Conector recto 5/16" OD x 1/8" NPT.	1	50	6,81 \$	4.918 \$	4.918
3.2	4006177	213	Conector recto 1/2" OD x 1/2" NPT	1	50	15,34 \$	11.078 \$	11.078
4	4003040	916	Tubo Porta Boquilla (Tobera PVC).	1	50	69,34 \$	50.075 \$	50.075
5	4005336		Conduit 3/4".	N/A	N/A	331,77 \$	239.594	
5.1	4004979	53	Tubo de nylon 1/2".	N/A	N/A	2,18 \$	1.574	
5.2	4005337	203	Tubo de nylon 5/16".	N/A	N/A	1,40 \$	1.011	
5.3	4002739	202	Tubo de nylon 1/4".	N/A	N/A	1,08 \$	780	
6	4005355	838	Resonador FP10.	1	50	25,56 \$	18.459 \$	18.459
6.1	4002601	16	Resonador FP2.	1	50	23,50 \$	16.971 \$	16.971
6.2	4001863	15	Resonador FP5.	1	50	27,22 \$	19.657 \$	19.657
Valor Total.								\$ 242.165

ANEXO D

Ficha D-1 *Teoría del FOG.*

TEORIA DEL FOG

Teoría de la Supresión

Historia

En general existen dos tipos de sistemas de control de polvo: los pasivos y los activos. Los sistemas pasivos son aquellas tecnologías que no requieren energía para operar, como tolvas diseñadas (chutes), cobertizos de amortiguación y recintos grandes de transportadores. Son componentes instalados en forma permanente, que requieren muy poca o ninguna energía. En la mayoría de los casos, los sistemas pasivos no tienen piezas móviles.

Neblina y Aglomeración

El principio de funcionamiento de la Neblina es la aglomeración de partículas de polvo y de agua de similar tamaño. A medida que las partículas aglomeradas se hacen más grandes y pesadas, precipitan sobre el material transportado y son devueltas al proceso sin ningún manejo especial.

Cuando las gotas de agua son significativamente más grandes que las partículas de polvo, el aire desplazado por la gota de agua en movimiento desplaza la partícula de polvo alrededor de la gota de agua, y así evita la colisión.

Aplicación de la Neblina

La tecnología ADS™ de neblina funciona en climas cálidos, fríos, húmedos y áridos. Las pequeñas gotas de agua no se congelan en condiciones climáticas frías normales a causa de su pequeño tamaño, así como las nubes no se congelan. En climas cálidos y secos, los sistemas producen su propio entorno húmedo, que limita la cantidad de evaporación y permite que el sistema funcione en forma eficiente.

Elementos para el diseño de un Sistema de control de polvo

Hay cuatro elementos clave en el diseño de un buen sistema de control de polvo y que no son exclusivos de los sistemas de neblina:

Contención



La fuente de polvo debe estar contenida o sellada para aislar el polvo y la neblina de las influencias externas. Esto por sí solo va a reducir significativamente las emisiones de polvo. Esta contención es responsable de la presencia de los recintos en los puntos de transferencia, el uso de muros y barreras alrededor de las tolvas de volcado, harneros etc.



CONTROL DE POLVO
TRC tiene una solución


Vancouver, Wa USA
+1 (360) 892-1659
www.raringcorp.com





FEBRERO, 2017

ANEXO E

Presupuesto E-1 *Filtro modelo serie 90.*

		Quote Q33180		
<p>Forsta Filters Inc., 10856 Vanowen St, North Hollywood, California, 91605, United States Phone 3108377177, Fax 310-837-6477</p>		Validity Start Date:05-14-2025 Valid for 30 days unless noted otherwise		
		Created Date:05-14-2025		
Customer Information				
<p>Capstone Copper Franco Vilches Franco Antilhue Antofagasta Antofagasta 1200000 Chile franco.vilchesb@gmail.com 976058524</p>				
Application Information				
Pond water for dust Suppression 2.2m3/h, 8.27 bar				
Item Part Number	Description	Quantity	Unit Price	Total
M2-90	Automatic Self Cleaning Filter made from stainless steel 304. 2" NPT Inlet/Outlet, 1" electric flushing valve. Operating pressure 40-150psi. Max temperature 150 F. The filter comes equipped with a high porosity 100 micron stainless steel 316L screen with 58sq inches for 90 series model M.	1	3,099	\$3,099
EC-2-110-HK	Automatic backwash controller for Forsta self cleaning water filters. Initiates cleaning cycle for up to two filters in parallel by pressure differential, periodic or manual activation. 110 VAC input/ 24 VAC output, weather resistant enclosure. Includes differential pressure gauge.	1	1,455	\$1,455
Section Subtotal		2		\$4,554
Items Total				\$4,554
Shipping & Handling Charges				0
Pre Tax Total				\$4,554
Tax(0)%				\$0
GRAND TOTAL(\$)				\$4,554
Terms and Conditions				
<p>Lead Time: From stock Payment Terms: Net 30 days Shipping Via: Truck Shipping Terms: Ex-Works North Hollywood, CA Quotes are valid for thirty (30) days. Delivery Subject to availability. Pumps, Valves, and Custom Fabricated Items are Non-Returnable Filters and Filter Parts Only Returnable Within 90 Days of the Ship Date with Forsta Authorization and Subject to Restocking Fee</p>				
<p>www.forstafilters.com Todays Date:05-14-2025</p>				

 <p>Forsta Filters Inc., 10856 Vanowen St, North Hollywood, California, 91605, United States Phone 3108377177, Fax 310-837-8477</p> <p>Created Date: 05-15-2025</p>	<p>Quote Q33185</p> <p>Validity Start Date: 05-15-2025 Valid for 30 days unless noted otherwise</p>																																													
<p>Customer Information</p> <p>Capstone Copper Franco Vilches Franco Antihue Antofagasta Antofagasta 1200000 Chile franco.vilchesb@gmail.com 976058524</p>																																														
<p>Application Information</p> <p>Pond water for dust Suppression 18m3/h, 8.27 bar, 4"</p>																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;">Item Part Number</th> <th style="width: 50%;">Description</th> <th style="width: 10%;">Quantity</th> <th style="width: 10%;">Unit Price</th> <th style="width: 10%;">Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A4-180C</td> <td>Automatic Self Cleaning Filter made from stainless steel 304L. 4" flange Inlet/Outlet, 1.5 electric flushing valve. Operating pressure 40-150psi. Max temperature 150 F. The filter comes equipped with high porosity stainless steel 316L screen 3 sq ft screen area for 180C series model A</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: right;">9,555</td> <td style="text-align: right;">\$9,555</td> </tr> <tr> <td>EC-2-110-HK</td> <td>Automatic backwash controller for Forsta self cleaning water filters. Initiates cleaning cycle for up to two filters in parallel by pressure differential, periodic or manual activation. 110 VAC input/ 24 VAC output, weather resistant enclosure. Includes differential pressure gauge.</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: right;">1,455</td> <td style="text-align: right;">\$1,455</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Section Subtotal</td> <td style="text-align: center;">2</td> <td></td> <td style="text-align: right;">\$11,010</td> </tr> <tr> <td colspan="3"></td> <td style="text-align: right;">Items Total</td> <td style="text-align: right;">\$11,010</td> </tr> <tr> <td colspan="3"></td> <td style="text-align: right;">Shipping & Handling Charges</td> <td style="text-align: right;">0</td> </tr> <tr> <td colspan="3"></td> <td style="text-align: right;">Pre Tax Total</td> <td style="text-align: right;">\$11,010</td> </tr> <tr> <td colspan="3"></td> <td style="text-align: right;">Tax(0)%</td> <td style="text-align: right;">\$0</td> </tr> <tr> <td colspan="3"></td> <td style="text-align: right;">GRAND TOTAL(\$)</td> <td style="text-align: right;">\$11,010</td> </tr> </tbody> </table>		Item Part Number	Description	Quantity	Unit Price	Total	A4-180C	Automatic Self Cleaning Filter made from stainless steel 304L. 4" flange Inlet/Outlet, 1.5 electric flushing valve. Operating pressure 40-150psi. Max temperature 150 F. The filter comes equipped with high porosity stainless steel 316L screen 3 sq ft screen area for 180C series model A	1	9,555	\$9,555	EC-2-110-HK	Automatic backwash controller for Forsta self cleaning water filters. Initiates cleaning cycle for up to two filters in parallel by pressure differential, periodic or manual activation. 110 VAC input/ 24 VAC output, weather resistant enclosure. Includes differential pressure gauge.	1	1,455	\$1,455	Section Subtotal		2		\$11,010				Items Total	\$11,010				Shipping & Handling Charges	0				Pre Tax Total	\$11,010				Tax(0)%	\$0				GRAND TOTAL(\$)	\$11,010
Item Part Number	Description	Quantity	Unit Price	Total																																										
A4-180C	Automatic Self Cleaning Filter made from stainless steel 304L. 4" flange Inlet/Outlet, 1.5 electric flushing valve. Operating pressure 40-150psi. Max temperature 150 F. The filter comes equipped with high porosity stainless steel 316L screen 3 sq ft screen area for 180C series model A	1	9,555	\$9,555																																										
EC-2-110-HK	Automatic backwash controller for Forsta self cleaning water filters. Initiates cleaning cycle for up to two filters in parallel by pressure differential, periodic or manual activation. 110 VAC input/ 24 VAC output, weather resistant enclosure. Includes differential pressure gauge.	1	1,455	\$1,455																																										
Section Subtotal		2		\$11,010																																										
			Items Total	\$11,010																																										
			Shipping & Handling Charges	0																																										
			Pre Tax Total	\$11,010																																										
			Tax(0)%	\$0																																										
			GRAND TOTAL(\$)	\$11,010																																										
<p>Terms and Conditions</p> <p>Lead Time: From stock Payment Terms: Net 30 days Shipping Via: Truck Shipping Terms: Ex-Works North Hollywood, CA Quotes are valid for thirty (30) days. Delivery Subject to availability. Pumps, Valves, and Custom Fabricated Items are Non-Returnable Filters and Filter Parts Only Returnable Within 90 Days of the Ship Date with Forsta Authorization and Subject to Restocking Fee</p>																																														
<p>www.forstafilters.com Today's Date: 05-15-2025</p>																																														

 <p>Forsta Filters Inc., 10856 Vanowen St, North Hollywood, California, 91605, United States Phone 3108377177, Fax 310-837-8477</p>	<p>Quote Q33185</p> <p>Validity Start Date: 05-15-2025 Valid for 30 days unless noted otherwise</p>			
<p>Created Date: 05-15-2025</p>				
<p>Customer Information</p>				
<p>Capstone Copper Franco Vilches Franco Antihue Antofagasta Antofagasta 1200000 Chile franco.vilchesb@gmail.com 976058524</p>				
<p>Application Information</p>				
<p>Pond water for dust Suppression 18m3/h, 8.27 bar, 4"</p>				
<p>Item Part Number</p>	<p>Description</p>	<p>Quantity</p>	<p>Unit Price</p>	<p>Total</p>
A4-180C	Automatic Self Cleaning Filter made from stainless steel 304L. 4" flange Inlet/Outlet, 1.5 electric flushing valve. Operating pressure 40-150psi. Max temperature 150 F. The filter comes equipped with high porosity stainless steel 316L screen 3 sq ft screen area for 180C series model A	1	9,555	\$9,555
EC-2-110-HK	Automatic backwash controller for Forsta self cleaning water filters. Initiates cleaning cycle for up to two filters in parallel by pressure differential, periodic or manual activation. 110 VAC input/ 24 VAC output, weather resistant enclosure. Includes differential pressure gauge.	1	1,455	\$1,455
Section Subtotal		2		\$11,010
Items Total				\$11,010
Shipping & Handling Charges				0
Pre Tax Total				\$11,010
Tax(0)%				\$0
GRAND TOTAL(\$)				\$11,010
<p>Terms and Conditions</p>				
<p>Lead Time: From stock Payment Terms: Net 30 days Shipping Via: Truck Shipping Terms: Ex-Works North Hollywood, CA Quotes are valid for thirty (30) days. Delivery Subject to availability. Pumps, Valves, and Custom Fabricated Items are Non-Returnable Filters and Filter Parts Only Returnable Within 90 Days of the Ship Date with Forsta Authorization and Subject to Restocking Fee</p>				
<p>www.forstafilters.com Today's Date: 05-15-2025</p>				