

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

SEDE VIÑA DEL MAR – JOSE MIGUEL CARRERA

**PAUTA DE MANTENIMIENTO A SUBSISTEMA DE LAVADOR DE GASES PARA
PILAS DE LIXIVIACIÓN DE COBRE**

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

Alumno:

Iván Nicolás Durán Balladares

Profesor Guía:

Mg. Ing. Pablo Duque Ramírez

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: Pauta de Mantenimiento a Subsistema de Lavador de Gases para Pilas de Lixiviación de Cobre.

Nombre del candidato(a): Iván Nicolás Durán Balladares.

Carrera / Grado: Ingeniería en Mantenimiento Industrial.

Campus: Viña del Mar ; Departamento: Mecánica.

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Pablo Andrés Duque Ramírez, 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: 29/07/2025

; Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 29/07/2025

; 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

El presente trabajo de título tiene como objetivo desarrollar pautas de mantenimiento para equipos de una planta piloto en construcción, perteneciente a un proyecto minero en Chile. La finalidad de este proyecto es realizar pruebas a escala industrial para la obtención de cobre mediante proceso productivo de biolixiviación, que utiliza microorganismos como bacterias y una solución lixivante.

La elaboración de estas pautas responde a una solicitud de una reconocida empresa minera, que ha encargado a una consultora de ingeniería el desarrollo de pautas de mantenimiento para todos los equipos de la planta. Para ello, se lleva a cabo un proceso de jerarquización de la totalidad de los sistemas involucrados, estableciendo su nivel de criticidad y elaborando plan de mantenimiento con actividades y frecuencias recomendadas según la información del fabricante.

Posteriormente, se desarrolla Masterplan de mantenimiento, que contempla la organización, planificación y programación de las actividades definidas en las pautas. El objetivo es asegurar la disponibilidad operativa de los activos durante el período de 1 año de operación, empleando únicamente estrategias de mantenimiento preventivo para garantizar su correcto desempeño dentro del plazo establecido.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN..... 1

OBJETIVO GENERAL 2

OBJETIVO ESPECÍFICO..... 2

CAPÍTULO 1: ANÁLISIS Y JERARQUIZACIÓN DE SISTEMAS 4

 1.1. INTRODUCCIÓN 4

 1.2. CASO DE ESTUDIO 4

 1.3. PROCESO DE JERARQUIZACIÓN..... 5

 1.3.1. DETERMINACIÓN DE SISTEMA CRÍTICO..... 6

 1.4. DIAGRAMA DE FLUJO SISTEMA SEMICRÍTICO 14

CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DE SUBSISTEMA DE LAVADOR DE GASES 10

 2.1. INTRODUCCIÓN 18

 2.2. DESCRIPCIÓN PROCESO SISTEMA LAVADOR DE GASES..... 18

 2.3. DIAGRAMA DE FLUJO Y DESCRIPCIÓN VENTILADORES
EXTRACTORES 20

 2.4. METODOLOGÍA PAUTA DE MANTENIMIENTO..... 22

 2.4.1. INTRODUCCIÓN..... 22

 2.4.2. OBJETIVO Y ALCANCE..... 23

 2.4.2.1 OBJETIVO DEL DOCUMENTO 23

 2.4.2.2 ALCANCE DEL DOCUMENTO 23

 2.4.2.3 EXCLUSIONES..... 23

 2.4.3. METODOLOGÍA DE REVISIÓN 24

 2.4.4. IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS..... 25

 2.4.5. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS..... 26

 2.4.6. DOCUMENTOS RELACIONADOS 28

 2.4.7. DOTACIÓN..... 29

 2.4.8. PLAN DE MANTENIMIENTO 29

 2.4.9. LISTADO DE REPUESTOS E INSUMOS 31

 2.5. PAUTA DE MANTENIMIENTO 32

CAPÍTULO 3: MASTERPLAN DE MANTENIMIENTO 22

 3.1. INTRODUCCIÓN 46

 3.2. CONSIDERACIONES GENERALES..... 46

 3.3. ESTRUCTURA MASTERPLAN..... 50

 3.3.1. TIEMPO POR EQUIPOS..... 50

 3.3.2. TIEMPOS POR ÁREA 51

 3.3.3. MASTERPLAN DE MANTENIMIENTO 52

 3.3.4. BALANCE DE CARGA 58

 3.3.5. RESUMEN DE MASTERPLAN 59

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 61

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA..... 63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.3-1: Probabilidad de ocurrencia.....	6
Tabla 1.3-2: Factor de severidad.....	7
Tabla 1.3-3: Matriz de riesgo.....	8
Tabla 1.3-4: Criterio de evaluación.	9
Tabla 1.3-5: Identificación de áreas del proyecto.....	9
Tabla 1.3-6: Resultados Pre-taller de jerarquización.....	11
Tabla 1.3-7: Criterio de evaluación.	12
Tabla 1.3-8: Resultado Taller de jerarquización.	13
Tabla 1.4-1: Identificación de área del sistema.	14
Tabla 1.4-2: Código de equipos.....	15
Tabla 1.4-3: Listado de equipos mecánicos.....	15
Tabla 2.4-1: Metodología de revisión.....	25
Tabla 2.4-2: Identificación de equipos de subsistema de Lavador de Gases.....	26
Tabla 2.4-3: Descripción técnica Motor WEG – Ventiladores Extractores.	27
Tabla 2.4-4: Descripción técnica Ventiladores Extractores.	28
Tabla 2.4-5: Dotación de personal de mantenimiento.	29
Tabla 2.4-6: Plan de mantenimiento Ventiladores Extractores.....	30
Tabla 2.4-7: Plan de mantenimiento Ventiladores Extractores (Continuación).....	31
Tabla 2.4-8: Plan de mantenimiento Ventiladores Extractores Stand-by.....	31
Tabla 2.4-9: Listado de repuesto e insumos.	32
Tabla 3.2-1: Dotación de personal Escenario 1.	46
Tabla 3.2-2: Dotación de personal Escenario 2.	47
Tabla 3.2-3: Dotación de personal Escenario 3.	47
Tabla 3.2-4: Documentos de referencia Masterplan.....	47
Tabla 3.2-5: Documentos de referencia Masterplan (Continuación).....	48
Tabla 3.2-6: Estándar de tiempo para tareas de mantenimiento.	49
Tabla 3.3-1: Tiempo estimado por actividades de mantenimiento.	50
Tabla 3.3-2: Tiempo estimado por actividades de mantenimiento (Continuación).....	51
Tabla 3.3-3: Tiempo resumen de ejecución de tareas por área de la planta.	51
Tabla 3.3-4: Tiempo resumen de ejecución de tareas por área de la planta (Continuación).52	
Tabla 3.3-5: Masterplan de Mantenimiento Ventilador Extractor.	53
Tabla 3.3-6: Masterplan de Mantenimiento Ventilador Extractor (Continuación).	54
Tabla 3.3-7: Masterplan de Mantenimiento Ventilador Extractor (Continuación).	55
Tabla 3.3-8: Masterplan de Mantenimiento Ventilador Extractor (Continuación).	56
Tabla 3.3-9: Masterplan de Mantenimiento Ventilador Extractor (Continuación).	57
Tabla 3.3-10: Disponibilidad de horas por semana.	58
Tabla 3.3-11: Resumen de Masterplan de Mantenimiento.	60

ÍNDICE DE ILUSTRACIÓN

Ilustración 1.2-1: Imagen Referencial de Ubicación Planta Piloto.	4
Ilustración 1.3-1: Modelo de Gestión de Mantenimiento.	5
Ilustración 1.4-1: Diagrama de flujo proceso Lavador de Gases.	16
Ilustración 2.2-1: Diagrama de flujo proceso Lavador de Gases.	19
Ilustración 2.3-1: Diagrama de flujo Ventiladores Extractores.	20
Ilustración 2.4-1: Imagen referencial Motor WEG - Ventiladores Extractores.	27
Ilustración 2.4-2: Imagen referencial conjunto Ventilador – Motor.	28
Ilustración 2.5-1: Portada Pauta de mantenimiento Lavador de Gases.	32
Ilustración 2.5-2: Índice Pauta de mantenimiento Lavador de Gases.	33
Ilustración 2.5-3: Extracto de Pauta de mantenimiento Lavador de Gases.	34
Ilustración 2.5-4: Descripción de equipo de subsistema de Lavador de Gases.	35
Ilustración 2.5-5: Descripción de equipo de subsistema de Lavador de Gases (Continuación).	36
Ilustración 2.5-6: Extracto de Pauta de mantenimiento Lavador de Gases.	37
Ilustración 2.5-7: Plan de mantenimiento preventivo a subsistema de Lavador de Gases. ...	38
Ilustración 2.5-8: Extracto de Pauta de mantenimiento Lavador de Gases.	39
Ilustración 2.5-9: Checklist de mantenimiento.	40
Ilustración 2.5-10: Checklist de mantenimiento (Continuación).	41
Ilustración 2.5-11: Checklist de mantenimiento (Continuación).	42
Ilustración 2.5-12: Anexo Pauta de mantenimiento Lavador de Gases.	43
Ilustración 2.5-13: Anexo Pauta de mantenimiento Lavador de Gases (Continuación).	44
Ilustración 3.3-1: Balance de carga de horas hombre para actividades de mantenimiento por semana.	59
Ilustración 3.3-2: Porcentaje de horas utilizadas con respecto a las horas disponibles.	59

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.3-1: Cuantificación de criticidad.	6
Ecuación 1.3-2: Cuantificación de riesgo.	10

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

SIGLA

MGM	:	Modelo de Gestión de Mantenimiento
P&ID	:	Piping and Instrumentation Diagram
HH	:	Horas Hombre

SIMBOLOGÍA

Km	:	Kilómetro
m.s.n.m	:	Metros Sobre el Nivel del Mar
@	:	Hasta
°C	:	Grados Celsius
ppm	:	Partículas por Millón
m ³ /h	:	Metro Cúbico Hora
%	:	Porcentaje
HP	:	Caballos de Fuerza
kW	:	Kilo Vatios
Hz	:	Hertz
V	:	Voltaje
A	:	Amperios
rpm	:	Revoluciones por Minuto
g	:	Gramos
h	:	Hora
Am ³ /h	:	Flujo real Metro Cúbico Hora
mmca	:	Milímetro de Columna de Agua
m/s	:	Metro Segundo
plg	:	Pulgada
mm	:	Milímetro
kg	:	Kilogramo

INTRODUCCIÓN

El rubro de minería es un pilar fundamental de la economía nacional, contribuyendo aproximadamente el 11,9% de Producto Interno Bruto del país (Statista, 2024). En el año 2023, la exportación minera representó una disminución en comparación al año 2022, generando ingresos de 53 mil millones de dólares. Este mineral de cobre se obtiene principalmente a través de hidrometalurgia, donde microorganismos, como ciertas bacterias y una adecuada distribución de soluciones lixiviantes son elementos fundamentales en el proceso especialmente en la etapa de lixiviación en pilas.

La implementación de un sistema de riego adecuado promueve la irrigación homogénea y uniforme de tres flujos fundamentales para el proceso, tales como, refino, ácido nítrico y agua, los que se dosifican mediante goteros o aspersores según la tasa de riego definida.

Sin embargo, durante este proceso de lixiviación se producen gases tóxicos que son trasladados por ductos mediante ventiladores extractores a un sistema de limpieza tipo scrubber.

Los gases monóxido (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂) son ingresados al equipo de lavado en contra del flujo de una solución recirculante compuesta por agua (H₂O) y peróxido de hidrógeno (H₂O₂), creando una zona de elevada turbulencia que facilita y agiliza la transferencia de masa desde el gas al líquido. Este método reduce la concentración de dichos compuestos a valores que cumplen con la normativa vigente medioambiental, y a su vez permite la formación de ácido nítrico para su reutilización en el proceso de lixiviación, creando un ciclo cerrado que maximiza el uso de recurso y potencia la eficiencia del proceso.

Para asegurar la eficiencia del sistema, se controlan de forma continua parámetros operacionales, tales como, caudal, temperatura, presión y concentración de gases lo que facilita llevar a cabo ajustes según sea requerido.

Actualmente, se cuenta con un personal de mantenimiento encargado de estos equipos, sin embargo, no se dispone de un plan de mantenimiento establecido. Esto ha generado la necesidad de elaborar e implementar una pauta de mantenimiento preventiva que permite prolongar la vida útil, prevenir fallas, disminuir costos operativos y garantizar la integridad tanto de equipos como de personal a cargo.

OBJETIVO GENERAL

- Elaborar pauta y plan de mantenimiento para subsistema de Lavador de Gases utilizado en proceso de biolixiviación en pilas.

OBJETIVO ESPECÍFICO

- Realizar análisis de criticidad mediante un enfoque semi cuantitativo estableciendo áreas críticas del proceso de biolixiviación.
- Generar pauta de mantenimiento identificando equipos y componentes, considerando características técnicas, tales como, materialidad, capacidad operacional, y parámetros de funcionamiento, con la finalidad de desarrollar plan de mantenimiento idóneo que garantice su operatividad y eficiencia.
- Planificar actividades de manteniendo mediante frecuencia y tipos de actividades establecidas en pautas de mantenimiento.

CAPÍTULO 1: ANÁLISIS Y JERARQUIZACIÓN DE SISTEMAS

1.1. INTRODUCCIÓN

Para establecer el marco de análisis, primero se define el caso de estudio, permitiendo contextualizar la problemática y comprender su alcance dentro del proyecto. Una gestión eficiente de activos requiere procesos estructurados que permitan jerarquizar los equipos según su impacto en la operación.

A partir de un enfoque teórico, se exploran los principios y metodologías utilizadas para jerarquizar equipos, resaltando su importancia en la toma de decisiones estratégicas. Luego, se identifican los sistemas críticos, semicríticos y baja criticidad mediante criterios adaptados a las necesidades y lineamientos de la empresa mandante y asesora, garantizando una evaluación precisa y contextualizada.

Como resultado de este análisis, se selecciona un equipo semicrítico específico, cuya estructura y funcionamiento se describen a través de un diagrama de flujo, facilitando su comprensión y evidenciando su relevancia dentro del sistema productivo.

1.2. CASO DE ESTUDIO

Chile es reconocido como el principal productor de cobre a nivel mundial, en este contexto, una empresa mandante del sector minero ha encomendado a una empresa asesora la elaboración de pautas de mantenimiento preventivo e identificar sistemas críticos de una planta piloto la cual tendrá un período de un año de operación enfocada en el proceso productivo biolixiviación en pilas. La planta demostrativa, se ubica en instalaciones existentes, a 170 km al sureste de la Ciudad de Antofagasta, a una altitud promedio de 3.150 m.s.n.m.



Ilustración 1.2-1: Imagen Referencial de Ubicación Planta Piloto.
Fuente: Proyecto empresa mandante.

Estas pautas deben garantizar la operatividad continua de los equipos y sistemas, minimizando los tiempos de inactividad y asegurando un funcionamiento óptimo durante las pruebas. La planta tiene como propósito principal realizar pruebas y estudios que permitan evaluar la viabilidad y eficiencia del proceso productivo.

Lixiviación en pilas es un proceso fundamental en la industria minera, dado que facilita la obtención de cobre a través del uso de microorganismos que lixivian el mineral bajo condiciones controladas. Por lo tanto, el mantenimiento preventivo no solo debe enfocarse en la funcionalidad de los equipos, sino también en mantener las condiciones óptimas para el desarrollo del proceso. Este proyecto generará información valiosa para su implementación a gran escala.

1.3. PROCESO DE JERARQUIZACIÓN

Mediante el modelo de Gestión de Mantenimiento (MGM) de 8 fases (Parra y Crespo, 2015), que identifican y definen acciones a seguir en diferentes pasos del proceso de gestión de mantenimiento, en este caso se centrará en la fase número 2 del MGM ilustración 1.3-1. Esta fase consiste en describir técnicas de jerarquización y criticidad.

Las técnicas de análisis de criticidad son herramientas que facilitan identificar y jerarquizar los activos de este proyecto sobre los cuales es importante emplear recursos. No obstante, este proceso de análisis de criticidad contribuye a establecer la importancia y las consecuencias de eventos potenciales de fallos de los sistemas de producción.

El propósito del análisis de criticidad es desarrollar un método que actúe como herramienta de apoyo para establecer la jerarquía de los procesos, sistemas, áreas y equipos en el proceso productivo de lixiviación en pilas. Este análisis facilita la subdivisión de los elementos en secciones controlables.

Bajo este enfoque, existen una gran cantidad de criterios que se pueden utilizar para determinar la criticidad de un activo de producción. Las razones para dar prioridad pueden variar dependiendo de las oportunidades y requerimientos.



Ilustración 1.3-1: Modelo de Gestión de Mantenimiento.
Fuente: Parra y Crespo 2015.

1.3.1. DETERMINACIÓN DE SISTEMA CRÍTICO

Para determinar el sistema crítico de la planta, se llevó a cabo un Pre-Taller, dirigido por el equipo multidisciplinario de la empresa asesora. Este análisis permitirá evaluar y priorizar sistemas esenciales para la operación.

Durante la realización de este Pre-Taller, se analiza con detalles el estándar técnico utilizado por la empresa mandante para jerarquizar equipos, sistemas, infraestructura y áreas de interés. Este estándar determina la criticidad de un equipo según probabilidad de falla e impacto a la compañía ecuación 1.3-1.

Ecuación 1.3-1: Cuantificación de criticidad.

*Puntaje de criticidad = Factor de probabilidad de ocurrencia * Factor de severidad*

Fuente: Criterio interno empresa mandante.

En primera instancia la empresa mandante define el factor de probabilidad de ocurrencia tabla 1.3-1, con las siguientes categorías: muy probable, probable, posible, improbable y muy probable.

Tabla 1.3-1: Probabilidad de ocurrencia.

Factor de Probabilidad	Nivel de Probabilidad	Descripción
3	Muy Probable	Probable que ocurra dentro de un período de 1 año.
1	Probable	Probable que ocurra dentro de un período de 1 a 5 años.
0,3	Posible	Probable que ocurra dentro de un período de 5 a 20 años.
0,1	Improbable	Probable que ocurra dentro de un período de 20 a 50 años.
0,03	Muy Improbable	Poco probable que ocurra dentro de un período de 50 años.

Fuente: Criterio interno empresa mandante.

La tabla 1.3-1 representa la clasificación del factor de probabilidad asociados a eventos o riesgos en función del tiempo. Debido a que el proyecto tiene una duración de un año de operación los factores de mayor relevancia son Muy Probables (3) y Probable (1), dado que tienen mayor probabilidad de ocurrencia dentro del período. En cambio, los factores Posible (0,3), Improbable (0,1) y Muy probable (0,03) corresponden a eventos de ocurrencia a largo plazo, por lo que tienen menor relevancia en el análisis de jerarquización.

En segunda instancia se define el factor de severidad tabla 1.3-2, la cual evalúa aspectos como salud, repercusiones ambientales, repercusiones en la comunidad, derechos humanos, impacto a nivel de empresa y repercusiones económicas.

Tabla 1.3-2: Factor de severidad.

Nivel de Severidad	Descripción	Factor de Severidad
5	6 o más muertes o 6 o más enfermedades que acortan la vida; o Impacto severo en el medio ambiente y donde la recuperación de la función del ecosistema lleva 10 años o más; o Impacto severo en la comunidad que dura más de 12 meses o una violación sustentada de los derechos humanos que afecta a 6 o más personas; o Impacto severo en la reputación de la empresa, atractivo para la inversión, derechos legales o cumplimiento, proposición de valor social o capacidad para acceder a oportunidades a nivel global; o 2 mil millones de dólares o más.	1000
4	1-5 muertes o 1-5 enfermedades que acortan la vida; o Impacto grave en el medio ambiente, donde la recuperación de la función del ecosistema lleva entre 3 y hasta 10 años; o Impacto grave en la comunidad que dura de 6 a 12 meses o una violación sustentada de los derechos humanos que afecta a 1-5 personas; o Impacto grave en la reputación de la empresa, atractivo para la inversión, derechos legales o cumplimiento, proposición de valor social o capacidad para acceder a oportunidades a nivel nacional; o Entre 250 millones de dólares y hasta 2 mil millones de dólares.	300
3	Lesión o enfermedad que altera la vida o discapacidad a largo plazo/permanente para una o más personas; o Impacto sustancial en el medio ambiente, donde la recuperación de la función del ecosistema lleva entre 1 y hasta 3 años; o Impacto sustancial en la comunidad que dura de 2 a 6 meses; o Impacto sustancial en la reputación de la empresa, derechos legales o cumplimiento, proposición de valor social o capacidad para acceder a oportunidades a nivel subnacional (estado, territorio, provincia); o Entre 50 millones de dólares y hasta 250 millones de dólares.	100
2	Lesión o enfermedad no alteradora de la vida o discapacidad a corto plazo para una o más personas; o Impacto medible pero limitado en el medio ambiente, donde la recuperación de la función del ecosistema lleva menos de 1 año; o Impacto medible pero limitado en la comunidad que dura menos de un mes; o Impacto medible pero limitado en la reputación de la empresa, derechos legales o cumplimiento, o proposición de valor social a nivel local (región, ciudad, pueblo); o Entre 2 millones de dólares y hasta 50 millones de dólares.	30
1	Impacto de nivel bajo que resulta en primeros auxilios solamente; o Impacto menor y temporal en el medio ambiente, donde el ecosistema se recupera con poca intervención; o Impacto menor y temporal en la comunidad que se recupera con poca intervención; o Impacto menor y temporal en la reputación de la empresa, derechos legales o cumplimiento, o proposición de valor social; o Menos de 2 millones de dólares.	10
1b	Impacto insignificante en la salud y seguridad, medio ambiente, reputación o aspectos legales. Entre 25,000 y hasta 250,000 dólares estadounidenses.	3
1c	Impacto nulo en la salud y seguridad, medio ambiente, reputación o aspectos legales. Por debajo de los 25,000 dólares estadounidenses.	1

Fuente: Criterio interno empresa mandante.

En términos de severidad, un factor clave que minimiza el impacto es que ningún equipo tiene un costo elevado de reparación, lo que reduce significativamente la afectación económica ante posibles fallas o daños. Además, contar con un kit de repuestos permite

abordar cualquier incidente de manera rápida y eficiente, evitando tiempos prolongados de inactividad y gastos adicionales por adquisiciones imprevistas.

Desde la perspectiva de seguridad, los equipos no representan un riesgo para la vida del personal, siempre que se cumplan los estándares establecidos. La correcta aplicación de estos protocolos reduce significativamente la probabilidad de incidentes graves, garantizando un entorno seguro y controlado para los trabajadores.

En el ámbito ambiental y operativo, cualquier impacto sería menor y temporal, permitiendo una recuperación con mínima intervención. Asimismo, la reputación de la empresa no se ve comprometida, dado que las incidencias en este nivel tienen un impacto limitado y son gestionables sin repercusiones significativas.

En tercera y última instancia se elabora una matriz de criticidad, como se muestra en la tabla 1.3-3 con el propósito de representar visualmente los factores evaluados.

Tabla 1.3-3: Matriz de riesgo.

Probabilidad	Severidad						
	1	3	10	30	100	300	1000
3	3	9	30	90	300	900	3000
1	1	3	10	30	100	300	1000
0,3	0,3	0,9	3	9	30	90	300
0,1	0,1	0,3	1	3	10	30	100
0,03	0,03	0,09	0,3	0,9	3	9	30

Fuente: Criterio interno empresa mandante.

De acuerdo con la matriz de criticidad, los sistemas se clasifican en categoría de bajo riesgo, debido a que los valores se encuentran en zonas de menor impacto. Esta evaluación se basa en la combinación del factor de probabilidad de ocurrencia y el nivel de severidad, lo que indica que, en caso de materializarse un evento, su impacto sería mínimo. En concordancia con esto, el estándar interno de la empresa mandante establece que ningún sistema de la planta es considerado críticos, por lo que el plan de mantenimiento debe ser desarrollado a criterio experto.

Tomando en consideración el criterio definido anteriormente, se sigue la metodología específica, la cual se abarca de la siguiente manera:

- Se emplea la identificación de sistemas y subsistemas obtenidas por la Ingeniera de detalles.

- El panel de expertos plantea comentarios y solicita aclaraciones sobre la evaluación, las cuales se registran en la planilla para ser reevaluados e informados en este informe.
- También se registran sugerencias y recomendaciones para ser consideradas por empresa mandante y asesora en el desarrollo de la estrategia de mantenimiento.
- Para cada sistema se evaluará 6 aspectos.
 - Impacto HSE.
 - Impacto Operacional.
 - Probabilidad de Falla.
 - Flexibilidad Operacional.
 - Detectabilidad de Falla.
 - Repuestos.

Cada uno de estos aspectos se pondera a partir de la siguiente manera:

Tabla 1.3-4: Criterio de evaluación.

Impacto HSE	Puntaje	Flexibilidad Operacional	Puntaje
Alto	3	No existe redundancia	3
Medio	2	Existe equipo spare	2
Bajo	1	Existe equipo en stand by	1
Impacto Operacional	Puntaje	Detectabilidad de Falla	Puntaje
Detención total	5	No detectable operacionalmente	3
Detención parcial	3	Detectable desde terreno	2
Sin detención	1	Detectable desde sala de control	1
Probabilidad de Falla	Puntaje	Repuestos	Puntaje
Probable que ocurra 1 vez dentro de 6 meses	3	No existe repuesto en bodega	2
Probable que ocurra 1 vez dentro de 1 año	2	Existe repuesto en bodega	1
Probable que ocurra 1 vez después de 1 año o mas	1		

Fuente: Pre-Taller de jerarquización empresa asesora.

En base a los criterios descritos anteriormente, se lleva a cabo la realización del Pre-Taller, en el cual se identifica un total de 40 sistemas a evaluar que componen la planta. Estos sistemas están integrados en áreas, las cuales se han identificado mediante un diagrama P&ID y quedan descritas en la siguiente tabla 1.3-5.

Tabla 1.3-5: Identificación de áreas del proyecto.

IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DEL PROYECTO	
Área	Identificación
900	General
920	Preparación Nitrato
940	Pilas y Lavador de Gases
950	Planta de Inóculo
960	Piscina
970	SX
980	Servicio

Fuente: Diagrama P&ID de proyecto.

Al asignar un puntaje específico a cada criterio, se obtiene una visión cuantitativa y clara sobre cuáles sistemas requieren atención prioritaria.

Para realizar este análisis cuantitativo, se debe considerar lo siguiente:

Ecuación 1.3-2: Cuantificación de riesgo.

$$Riesgo = Imp.HSE * Imp.Op * Prob.de Falla * Flex.Op * Detec.de Falla$$

Fuente: Pre-Taller de jerarquización empresa asesora.

Donde:

Imp. HSE: Impacto en salud, seguridad y medio ambiente.

Imp. Op: Impacto operacional.

Prob. de Falla: Probabilidad de falla.

Flex. Op: Flexibilidad operacional.

Detec. de Falla: Detectabilidad de falla.

Gracias a los puntajes asignados según los criterios evaluados, y a la identificación de las áreas involucradas en los 40 sistemas y a la aplicación de la ecuación de riesgo 1.3-2, se obtienen los resultados correspondientes, los cuales se presentan de manera detallada en la tabla 1.3-6. Esta tabla permite visualizar y analizar los niveles de riesgo asociados a cada área descrita.

Tabla 1.3-6: Resultados Pre-taller de jerarquización.

RESULTADO PRE-TALLER								
Área	Sistema	Descripción del sistema	Impacto en HSE	Impacto operacional	Probabilidad de falla	Flexibilidad operacional	Detectabilidad de falla	Total
950	0950-07	Aire comprimido instrumentación	1	5	1	3	3	45
920	0920-83	Agua de Proceso Área 0920	1	5	2	3	1	30
940	0940-83	Agua de Proceso Lavador de Gases	1	5	2	3	1	30
950	0950-83	Agua de Proceso Área 950	1	5	2	3	1	30
960	0960-83	Agua de Proceso a Área 960	1	5	2	3	1	30
970	0970-04	Alimentación Diesel	1	5	2	3	1	30
980	0980-05	Alimentación Agua de Proceso	1	5	2	3	1	30
920	0920-82	Ducha de Emergencia Nitrato	3	1	1	3	3	27
940	0940-82	Duchas de Emergencias Lavador de Gases	3	1	1	3	3	27
950	0950-82	Duchas de Emergencia Inóculo	3	1	1	3	3	27
960	0960-82	Duchas de Emergencia Área 960	3	1	1	3	3	27
980	0980-82	Duchas de Emergencia Área 980	3	1	1	3	3	27
920	0920-03	Preparación y Descarga de Nitrato de Sodio	1	5	1	3	1	15
920	0920-05	Ácido Nítrico	1	5	1	3	1	15
940	0940-04	Lavador de Gases	3	5	1	1	1	15
940	0940-85	Red Aire comprimido instrumentación	1	1	1	3	3	9
980	0980-04	Alimentación Agua Tibia para duchas de emergencia	3	1	1	3	1	9
950	0950-03	Alimentación de Inóculo desde TK 0201	1	3	2	1	1	6
950	0950-04	Alimentación de Inóculo desde TK 0205	1	3	2	1	1	6
950	0950-05	Alimentación de Inoculación hacia Tanque 221	1	3	2	1	1	6
950	0950-06	Alimentación de Inoculación desde Piscina 210	1	3	2	1	1	6
920	0920-04	Impulsión Nitrato a Piscina Refino	1	5	1	1	1	5
960	0960-03	Alimentación PLS Estanques Extracción por Solventes	1	5	1	1	1	5
960	0960-04	Extracción por Solvente	1	5	1	1	1	5
960	0960-05	Alimentación a Piscina de Refino 0960-PD-220	1	5	1	1	1	5
960	0960-06	Alimentación Riego Mineral ROM	1	5	1	1	1	5
960	0960-07	Recirculación SX	1	5	1	1	1	5
960	0960-08	Refino desde Post-Decantador de Refino	1	5	1	1	1	5
970	0970-02	Impulsión Electrolito Rico	1	5	1	1	1	5
970	0970-02	Impulsión Electrolito Rico	1	5	1	1	1	5
970	0970-03	Impulsión Agua Caliente	1	5	1	1	1	5
970	0970-05	Calentador de Agua	1	5	1	1	1	5
920	0920-84	Ácido Sulfúrico Área 0920	1	3	1	1	1	3
940	0940-03	Aire Apilamiento de mineral ROM	1	3	1	1	1	3
940	0940-05	Aire Apilamiento de mineral CHANCADO	1	3	1	1	1	3
950	0950-84	Ácido Sulfúrico Área 950	1	3	1	1	1	3
960	0960-84	Ácido Sulfúrico a Área 960	1	3	1	1	1	3
970	0970-03	Alimentación Ácido Sulfúrico	1	3	1	1	1	3
980	0980-03	Alimentación Ácido Sulfúrico	1	3	1	1	1	3
920	0920-02	Almacenamiento y Alimentación Nitrato Sodio	2	1	1	1	1	2

Fuente: Pre-Taller de jerarquización empresa asesora.

Luego de realizar este análisis, se realiza un Taller de jerarquización definitivo en conjunto a la empresa mandante contando con la participación del equipo de proyectos y operaciones con la finalidad de evaluar los resultados obtenidos.

De acuerdo con los criterios técnicos previamente determinados, se elabora una nueva plantilla de jerarquización de las áreas involucradas, otorgando un enfoque prioritario a los factores de salud, seguridad y medio ambiente (HSE). Esta actualización permite reflejar con mayor precisión los riesgos asociados a cada área, incrementando sus valores en función del peligro latente asociado a la manipulación de equipos, sustancias y agentes contaminantes.

Dicha jerarquización busca garantizar un análisis más riguroso de las condiciones operativas, identificando aquellas zonas donde la exposición a riesgos es más significativa. Factores como la presencia de agentes peligrosos (ácido nítrico), la posibilidad de incidentes ambientales (gases contaminantes) y la seguridad del personal han sido considerados para ajustar la evaluación. Los resultados de este análisis se presentan en la tabla 1.3-7.

Tabla 1.3-7: Criterio de evaluación.

Impacto HSE	Puntaje	Flexibilidad Operacional	Puntaje
Alto	5	No existe redundancia	3
Medio	3	Existe equipo spare	2
Bajo	1	Existe equipo en stand by	1
Impacto Operacional	Puntaje	Detectabilidad de Falla	Puntaje
Detención total	5	No detectable operacionalmente	3
Detención parcial	3	Detectable desde terreno	2
Sin detención	1	Detectable desde sala de control	1
Probabilidad de Falla	Puntaje	Repuestos	Puntaje
Probable que ocurra 1 vez dentro de 6 meses	3	No existe repuesto en bodega	2
Probable que ocurra 1 vez dentro de 1 año	2	Existe repuesto en bodega	1
Probable que ocurra 1 vez después de 1 año o mas	1		

Fuente: Taller de jerarquización.

Gracias a los nuevos criterios definidos, cada área identificada será reevaluada otorgando puntajes en función de los distintos parámetros establecidos. La ecuación polinómica 1.3-2 permitirá determinar la priorización de criticidad de cada área de la planta, garantizando una evaluación más rigurosa y alineada con el contexto operativo.

Tabla 1.3-8: Resultado Taller de jerarquización.

RESULTADO TALLER								
Área	Sistema	Descripción del sistema	Impacto en HSE	Impacto operacional	Probabilidad de falla	Flexibilidad operacional	Detectabilidad de falla	Total
920	0920-05	Ácido Nítrico	5	5	1	3	1	75
920	0920-82	Ducha de Emergencia Nitrato	5	5	1	3	1	75
940	0940-82	Duchas de Emergencias Lavador de Gases	5	5	1	3	1	75
950	0950-82	Duchas de Emergencia Inoculo	5	5	1	3	1	75
960	0960-82	Duchas de Emergencia Área 960	5	5	1	3	1	75
980	0980-82	Duchas de Emergencia Área 980	5	5	1	3	1	75
950	0950-07	Aire comprimido instrumentación	1	5	1	3	3	45
970	0970-04	Alimentación Diesel	1	5	2	3	1	30
980	0980-05	Alimentación Agua de Proceso	1	5	2	3	1	30
940	0940-85	Red Aire comprimido instrumentación	1	3	1	3	3	27
980	0980-04	Alimentación Agua Tibia para duchas de emergencia	3	3	1	3	1	27
940	0940-04	Lavador de Gases	5	5	1	1	1	25
920	0920-83	Agua de Proceso Área 0920	1	3	2	3	1	18
950	0950-83	Agua de Proceso Área 950	1	3	2	3	1	18
940	0940-03	Aire Apilamiento de mineral ROM	3	3	1	1	1	9
940	0940-05	Aire Apilamiento de mineral CHANCADO	3	3	1	1	1	9
950	0950-84	Ácido Sulfúrico Área 950	3	3	1	1	1	9
980	0980-03	Alimentación Ácido Sulfúrico	3	3	1	1	1	9
940	0940-83	Agua de Proceso Lavador de Gases	1	1	2	3	1	6
950	0950-03	Alimentación de Inóculo desde TK 0201	1	3	2	1	1	6
950	0950-04	Alimentación de Inóculo desde TK 0205	1	3	2	1	1	6
950	0950-05	Alimentación de Inoculación hacia Tanque 221	1	3	2	1	1	6
950	0950-06	Alimentación de Inoculación desde Piscina 210	1	3	2	1	1	6
960	0960-83	Agua de Proceso a Area 960	1	1	2	3	1	6
920	0920-04	Impulsión Nitrato a Piscina Refino	1	5	1	1	1	5
960	0960-03	Alimentación PLS Estanques Extracción por Solventes	1	5	1	1	1	5
960	0960-04	Extracción por Solvente	1	5	1	1	1	5
960	0960-05	Alimentación a Piscina de Refino 0960-PD-220	1	5	1	1	1	5
960	0960-06	Alimentación Riego Mineral ROM	1	5	1	1	1	5
960	0960-07	Recirculación SX	1	5	1	1	1	5
960	0960-08	Refino desde Post-Decantador de Refino	1	5	1	1	1	5
970	0970-02	Impulsión Electrolito Rico	1	5	1	1	1	5
970	0970-02	Impulsión Electrolito Rico	1	5	1	1	1	5
920	0920-02	Almacenamiento y Alimentación Nitrato Sodio	3	1	1	1	1	3
920	0920-03	Preparación y Descarga de Nitrato de Sodio	1	1	1	3	1	3
920	0920-84	Ácido Sulfúrico Área 0920	1	3	1	1	1	3
960	0960-84	Ácido Sulfúrico a Área 960	1	3	1	1	1	3
970	0970-03	Impulsión Agua Caliente	1	3	1	1	1	3
970	0970-03	Alimentación Ácido Sulfúrico	1	3	1	1	1	3
970	0970-05	Calentador de Agua	1	3	1	1	1	3

Fuente: Taller de jerarquización.

La tabla 1.3-8 muestra la priorización y jerarquización de cada uno de los sistemas de la planta según su nivel de criticidad, clasificados de la siguiente manera:

Color Rojo (75-30): Representa sistemas de criticidad elevada.

Color Amarillo (27-18): Indica sistemas de criticidad media.

Color Verde (9-3): Simboliza sistemas de criticidad baja.

Entre los sistemas evaluados, se ha seleccionado el Sistema de Lavador de Gases para su análisis. Este es un equipo semicrítico, fundamental para la reducción de la concentración de gases generados por el proceso. Se analiza debido a la abundante información disponible y su importancia en el control ambiental, operativo y la continuidad del proceso.

1.4. DIAGRAMA DE FLUJO SISTEMA SEMICRÍTICO

La empresa mandante solicita a una empresa de ingeniería ambiental y servicio la elaboración del proceso de lavado de gases, incorporando una línea de entrada de refino con la finalidad de hacer pruebas y estudios. Este proceso tiene como finalidad controlar los gases emanados por el proceso productivo de lixiviación en pilas.

En primer lugar, se asigna TAG a los equipos involucrados, el cual se define para facilitar su identificación y trazabilidad dentro del sistema. Dicha codificación estándar dentro de la plata tendrá la siguiente estructura:

XXXX-YY-ZZZ

Donde:

XXXX: Área del proyecto

YY: Código del equipo

ZZZ: Número correlativo del equipo

En segundo lugar, se identifica las áreas involucradas en el proceso, lo que permite contar con áreas controlables e identificar subsistemas. En este caso, se determinan dos áreas relevantes en las que el proceso estará envuelto, como se muestra en la tabla 1.4-1.

Tabla 1.4-1: Identificación de área del sistema.

IDENTIFICACIÓN DE ÁREA DEL SISTEMA	
Área	Equipos
940	Pila y Lavador de Gases
960	Piscina

Fuente: Empresa de ingeniería ambiental y servicio.

En tercer lugar, se asigna código a los equipos que serán utilizados para el proceso de lavado de gases, lo que permite simplificar su identificación y ser representados en un diagrama de flujo P&ID (Piping and Instrumentation Diagram).

Tabla 1.4-2: Código de equipos.

CÓDIGOS DE EQUIPOS	
Código	Descripción
DN	Lavador de Gases
PP	Bomba
BIN	Isocontenedor
FAN	Ventilador Extractor de Gases
ST	Chimenea Descarga de Gases
PO	Piscina
HX	Intercambiador de Calor

Fuente: Empresa de ingeniería ambiental y servicio.

En cuarto lugar, se hace el levantamiento de todos los equipos mecánicos involucrados en el proceso, como se representa en la tabla 1.4-3.

Tabla 1.4-3: Listado de equipos mecánicos.

LISTADO DE EQUIPOS MECÁNICOS	
Tag	Descripción
940-DN-501	Lavador de Gases
940-PP-501	Bomba de Recirculación
940-PP-502	Bomba de Recirculación
940-PP-504	Bomba de Purga
940-PP-505	Bomba de Purga
940-PP-506	Bomba Adición Peróxido de Hidrógeno
940-PP-507	Bomba Adición Peróxido de Hidrógeno
940-BIN-271	Isocontenedor de Peróxido de Hidrógeno
940-BIN-272	Isocontenedor de Peróxido de Hidrógeno
940-BIN-273	Isocontenedor de Peróxido de Hidrógeno
940-BIN-274	Isocontenedor de Peróxido de Hidrógeno
940-BIN-275	Isocontenedor de Peróxido de Hidrógeno
940-FAN-501	Ventilador Extractor
940-FAN-502	Ventilador Extractor
940-ST-512	Chimenea
960-PO-220	Piscina de Refino
960-PP-223	Bomba Piscina Refino
960-PP-224	Bomba Piscina Refino
960-HX-640	Intercambiador de Calor Refino

Fuente: Empresa de ingeniería ambiental y servicio.

A partir de esta información, se elabora un diagrama de flujo ilustración 1.4-1 que representa la interconexión de los equipos, permitiendo visualizar el funcionamiento del sistema de manera clara y estructurada. Este diagrama es una herramienta clave para la optimización del proceso, y la toma de decisiones.

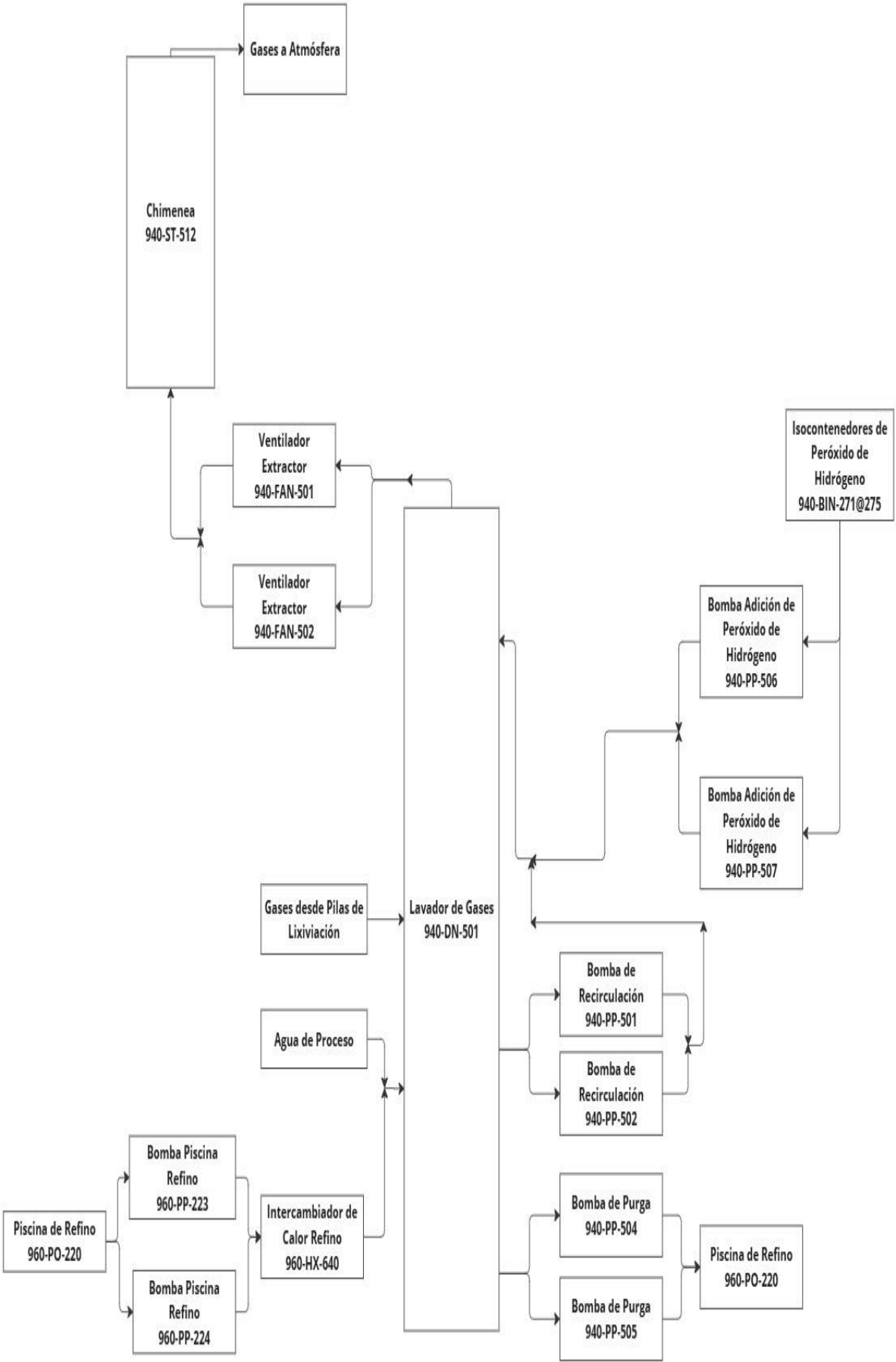


Ilustración 1.4-1: Diagrama de flujo proceso Lavador de Gases.
Fuente: Elaboración propia a partir de P&ID de proyecto.

CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DE SUBSISTEMA DE LAVADOR DE GASES

2.1. INTRODUCCIÓN

El mantenimiento es un factor clave para asegurar un correcto funcionamiento de los equipos involucrados en el proceso. En este capítulo, se describe el sistema de lavado de gases especificando componentes esenciales y su importancia. Además, se desarrolla un diagrama de flujo que facilita identificar los equipos que se le realizará mantenimiento.

Para finalizar se define la metodología de pauta de mantenimiento estableciendo pasos y estrategias necesarias para garantizar que los equipos operen en óptimas condiciones.

2.2. DESCRIPCIÓN PROCESO SISTEMA LAVADOR DE GASES

En el proceso productivo de biolixiviación de minerales en pilas, la capacidad de procesamiento está determinada por la actividad de microorganismos, como ciertas bacterias y por una adecuada distribución de soluciones lixiviantes. Sin embargo, este proceso genera gases contaminantes como subproductos.

Así como se indica en ilustración 2.2-1, al scrubber ingresan dos fluidos principales: gases contaminantes (como monóxido de nitrógeno (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂), que al combinarse forman óxidos de nitrógeno (NO_x)) con flujo de 34.252 [Am³/h] a una temperatura de 40 [°C] y con una concentración de 100 [ppm]; agua de proceso con un flujo de 0,076 [m³/h] a una temperatura de 25 [°C]; y/o refino (Cobre (Cu), Ácido Sulfúrico (H₂SO₄), Hierro (Fe) y Nitrato (NO₃)), también con un flujo de 0,076 [m³/h] a 25 [°C], que se utiliza para realizar pruebas y estudios según lo indicado por el encargado del proceso.

Los gases contaminantes son trasladados por ductos hacia el sistema de limpieza tipo scrubber, donde circulan a través de un lecho empacado en contra del flujo de recirculación de agua. Este flujo de recirculación es impulsado por una bomba con una capacidad de 1600 [m³/h], la cual distribuye el agua hacia un manifold con tres salidas. Cada salida está conectada a un cabezal equipado con toberas que pulverizan el agua y una solución de peróxido de hidrógeno (30 %), dosificada mediante una bomba con un flujo de 0,0053 [m³/h] a una temperatura de 25 [°C].

El agua de recirculación, al capturar los residuos de los gases contaminantes, es extraída del sistema mediante una bomba de purga con un flujo de 0,046 [m³/h] a una temperatura de 30 [°C]. Este fluido es descargado en una piscina de refino, donde ocurre la captación de ácido nítrico (10 %), formado como resultado de las reacciones químicas ocurridas durante el lavado de gases.

Posteriormente, los gases pasan por un filtro de niebla y son extraídos mediante ventiladores, para finalmente ser descargados a través de una chimenea hacia la atmósfera con flujo de 35.625 [Am³/h] a una temperatura de 36 [°C] y una concentración reducida a 4 [ppm], logrando una reducción del 96 % de los contaminantes presentes.

Con base en la descripción del proceso, se implementa pauta de mantenimiento a ventiladores extractores debido a su papel fundamental en extracción y transporte de los gases generados durante la lixiviación de minerales. Estos equipos garantizan un flujo controlado y continuo de los gases desde las pilas de lixiviación, a través del sistema de piping, hasta el scrubber, donde se lleva a cabo su depuración. El mantenimiento apropiado de estos equipos es esencial para optimizar la eficiencia del sistema, garantizar la reducción de contaminantes y cumplir con los estándares.

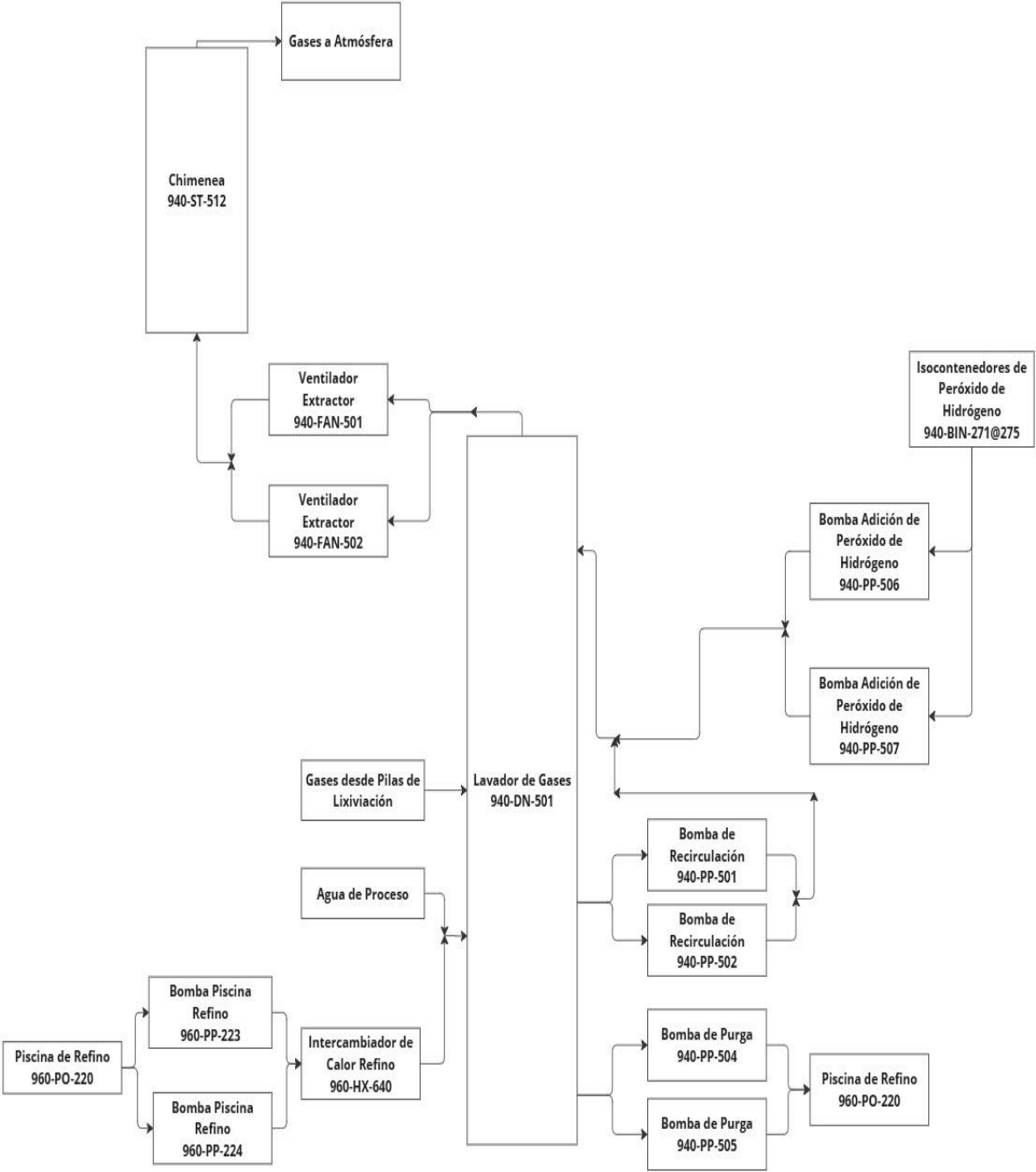


Ilustración 2.2-1: Diagrama de flujo proceso Lavador de Gases.
Fuente: Elaboración propia a partir de P&ID de proyecto.

2.3. DIAGRAMA DE FLUJO Y DESCRIPCIÓN VENTILADORES

EXTRACTORES

El siguiente diagrama representa el proceso de extracción de gases en pilas de lixiviación. Este subsistema se analiza por su importancia en el proceso, al ser un equipo principal que permite el adecuado funcionamiento del sistema de lavado de gases. Posterior a su tratamiento, los gases son extraídos mediante un ventilador extractor que regula su flujo y presión antes de ser liberados de manera controlada. El sistema incluye mecanismos de respaldo para garantizar su funcionamiento continuo y eficiente.

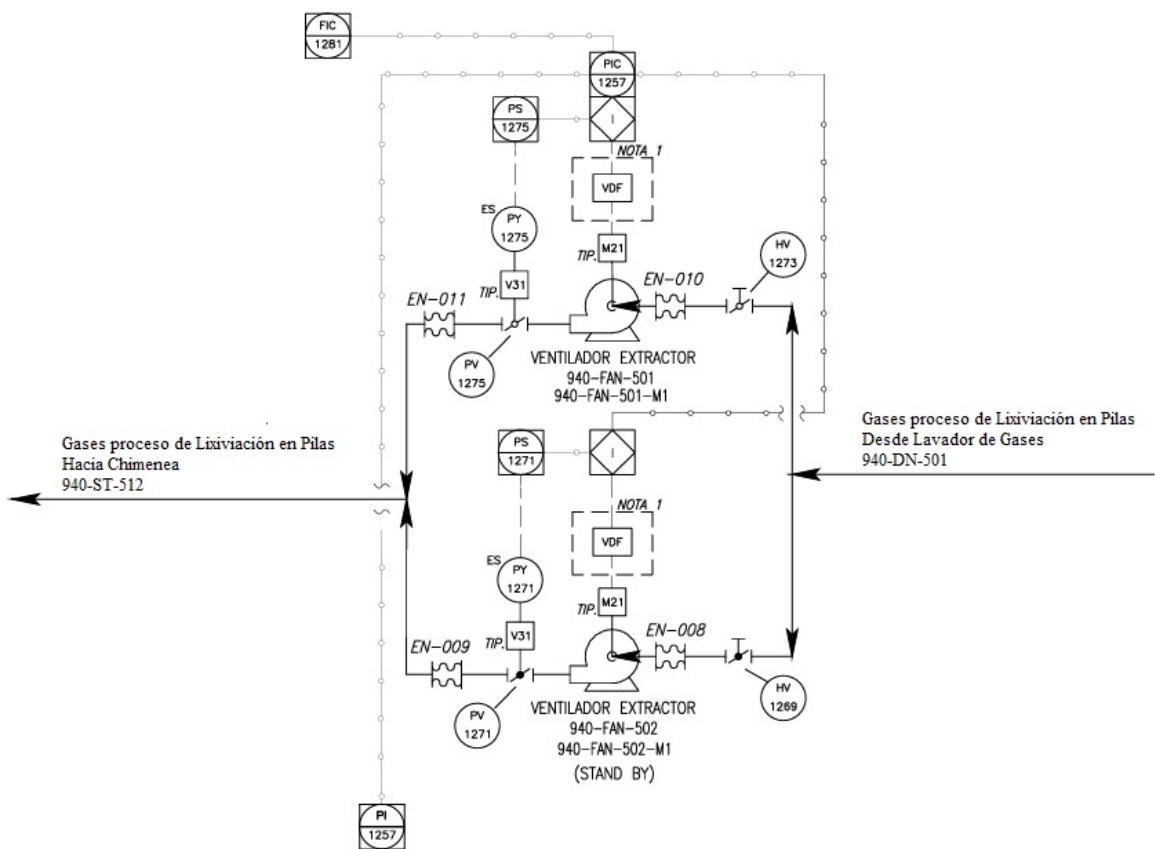


Ilustración 2.3-1: Diagrama de flujo Ventiladores Extractores.
Fuente: Empresa de ingeniería ambiental y servicio.

La ilustración 2.3-1 representa el proceso de extracción de gases generados en pilas de lixiviación. Tras su tratamiento en el lavador de gases (940-DN-501), estos alcanzan una concentración reducida de 4 [ppm], un flujo de 35.625 [Am³/h] y una temperatura de 36 °[C] antes de ser conducidos al sistema de extracción.

Los gases son succionados por el ventilador extractor principal (940-FAN-501), accionado por un motor eléctrico (940-FAN-501-M1). En la primera etapa del proyecto, este motor operará con un método de partida directa. Sin embargo, en una segunda etapa se implementará un variador de frecuencia (VDF), lo que permitirá un control más eficiente de

la presión (PIC-1257; PI-1257) y el flujo (FIC-1281) de los gases, optimizando su extracción desde la sala de control.

En el piping de succión del extractor, los gases ingresan a través de un dámper de accionamiento manual (HV-1273, modelo REIMAG RMDA-654-FRP), que permanece abierto para permitir su circulación. Luego, atraviesan una junta de expansión (EN-010), diseñada para absorber vibraciones y compensar dilataciones térmicas dentro del sistema.

A la salida del ventilador, los gases pasan por un dámper de salida (PV-1275, modelo REIMAG RMDA - 645 x 760 - FRP), operado eléctricamente mediante un actuador (PY-1275, modelo NDELAC CONTROLS ML 4XB-F07-30-2S P1-VP-TX-H). Este componente puede ser controlado mediante un dispositivo electrónico por un operario en terreno. El sistema cuenta con un interruptor de presión (PS-1275) supervisado desde una sala de control, que permite detectar un umbral de presión en la línea, activando alarmas o medidas de protección automáticas si se detectan condiciones anormales. Posteriormente, los gases atraviesan una segunda junta de expansión (EN-011) antes de ser liberados a través de la chimenea (940-ST-512), completando así el proceso de extracción.

Para garantizar la continuidad operativa en caso de fallas o mantenimiento, el sistema cuenta con equipos en stand-by, es decir, equipos de respaldo que permanece inactivo, pero listos para entrar en operación cuando sea necesario. Uno de ellos es el ventilador extractor (940-FAN-502), que solo entra en funcionamiento si el ventilador principal deja de operar. Este ventilador también es accionado por un motor eléctrico (940-FAN-502-M1). En la primera etapa del proyecto, este motor operará con un método de partida directa; sin embargo, en una segunda etapa, se implementará un variador de frecuencia (VDF), optimizando así el control de la presión (PIC-1257; PI-1257) y el flujo (FIC-1281) de los gases desde la sala de control.

En el piping de succión del extractor de respaldo, los gases ingresan a través de un dámper de accionamiento manual (HV-1296, modelo REIMAG RMDA-654-FRP), que permanece cerrado para evitar su circulación mientras el ventilador de respaldo no está en funcionamiento. Luego, atraviesan una junta de expansión (EN-008), diseñada para absorber vibraciones y compensar dilataciones térmicas dentro del sistema.

A la salida del ventilador de respaldo, los gases pasan por un dámper de salida (PV-1271, modelo REIMAG RMDA-645x760-FRP) que permanece cerrado, operado eléctricamente mediante un actuador (PY-1271, modelo NDELAC CONTROLS ML 4XB-F07-30-2S P1-VP-TX-H). Este componente puede ser controlado mediante un dispositivo electrónico por un operario en terreno. El sistema cuenta con un interruptor de presión (PS-1271) supervisado desde una sala de control, que permite detectar un umbral de presión en la línea, activando alarmas o medidas de protección automáticas si se detectan condiciones

anormales. Finalmente, los gases atraviesan una segunda junta de expansión (EN-009) antes de ser liberados a través de la chimenea (940-ST-512), finalizando así el proceso de extracción.

2.4. **METODOLOGÍA PAUTA DE MANTENIMIENTO**

Se definen la metodología de mantenimiento como un enfoque estructurado para planificar, ejecutar y controlar las actividades de mantenimiento en equipos, dispositivos e instrumentos de medición.

Se fundamenta en una serie de etapas esenciales:

- Introducción
- Objetivos y alcance
- Metodología de revisión
- Identificación de equipos
- Descripción de equipos
- Documentos relacionados
- Dotación
- Plan de mantenimiento
- Listado de repuesto e insumos

2.4.1. **INTRODUCCIÓN**

Incluir una introducción en el documento permite comprender y analizar con mayor claridad el tema que se va a abordar, proporcionando un contexto que facilita su estudio y aplicación.

La empresa mandante ha desarrollado un proceso innovador denominado Lixiviación de Calcopirita. Como parte de su desarrollo, se ha dispuesto la construcción de una Planta Piloto cuyo propósito es evaluar el funcionamiento y desempeño del proceso a escala industrial y validar su viabilidad operativa. Actualmente, este proyecto se encuentra en su fase de construcción, por lo que se está desarrollando las actividades necesarias para la transición hacia la etapa de operación. En este contexto, la empresa mandante ha solicitado a una empresa asesora el desarrollo del plan de mantenimiento con el fin de identificar las actividades críticas de las instalaciones construidas y los recursos necesarios para mantener los activos disponibles para la operación.

2.4.2. OBJETIVO Y ALCANCE

Definir los objetivos dentro de una pauta de mantenimiento es crucial para establecer un enfoque estructurado que garantice la funcionalidad y eficiencia de los equipos. Esto permite alinear las actividades con los requerimientos operacionales, facilitando tanto su monitoreo como su evaluación. Asimismo, la correcta definición del alcance resulta esencial, debido que precisa los activos y sistemas que se le realizará mantenimiento, asegurando una adecuada asignación de recursos y evitando posibles ambigüedades en su aplicación. Por otro lado, la inclusión de exclusiones en la pauta permite focalizar los esfuerzos en los activos críticos, evitando la dispersión de recursos en elementos no prioritarios y, en consecuencia, optimizando la disponibilidad y eficiencia operativa del sistema.

2.4.2.1 OBJETIVO DEL DOCUMENTO

El objetivo de este plan de mantenimiento consiste en establecer las tareas y frecuencias necesarias para mantener todos los subsistemas asociados a Sistema de Lavado de Gases en un estado operativo óptimo. Se ha considerado un año calendario de operación.

2.4.2.2 ALCANCE DEL DOCUMENTO

La aplicación de lo dispuesto en este documento abarca los equipos asociados a los subsistemas que tienen relación con sistema Lavador de Gases, abarcando subsistema de ventilador extractor, en la planta de la empresa mandante, situada en la ciudad de Antofagasta.

2.4.2.3 EXCLUSIONES

Quedarán excluidos del alcance de esta especificación todos los equipos que no estén expresamente mencionados en el presente documento.

2.4.3. METODOLOGÍA DE REVISIÓN

La metodología de revisión es clave para asegurar la calidad, coherencia y alineación con los estándares técnicos previamente establecidos. Este proceso permite identificar oportunidades de mejora, asegurar el cumplimiento de requisitos y optimizar la gestión de los equipos involucrados. La revisión se desarrolla en etapas estructuradas, comenzando con:

- **Revisión A: Revisión Interna**

Una vez que la pauta de mantenimiento ha sido finalizada por parte de la empresa asesora, se lleva a cabo una revisión interna para identificar mejoras y realizar observaciones sobre aspectos relevantes garantizando su calidad y cumplimiento con los estándares establecidos. Una vez efectuadas las correcciones necesarias, se procede a la revisión B, asegurando que la documentación esté alineada con los requerimientos técnicos.

- **Revisión B: Comentarios Cliente**

La empresa asesora envía las pautas de mantenimiento a la empresa mandante para su revisión. Estas son evaluadas por parte de la empresa de ingeniería encargada del mantenimiento de los equipos involucrados con el fin de generar acotaciones y recomendaciones para su implementación. Una vez aplicadas las mejoras, se procede a la Revisión 0, asegurando que la documentación esté alineada con los requisitos y estándares de mantenimiento establecidos.

- **Revisión 0: Uso**

La empresa asesora sube las pautas de mantenimiento a software confidencial de la empresa mandante para su almacenamiento, gestión y control, permitiendo un acceso seguro a la documentación.

A continuación, se presenta la estructura de revisión del documento, la cual permite garantizar la trazabilidad y validación de la pauta de mantenimiento.

Tabla 2.4-1: Metodología de revisión.

0	06/09/2024	Uso					
B	24/06/2024	Comentarios Cliente					
A	18/06/2024	Revisión Interna					
Revisión	Fecha	Emitido para	Preparó	Revisó	Aprobó	Cliente	Cliente
P2408			Nº P2408-EXE-0000-ME-STD-0004 Nº CLIENTE P2408-EXE-0000-ME-STD-0004				0

Fuente: Empresa asesora.

La tabla 2.4-1, representa el proceso en la cual la pauta de mantenimiento ha sido revisada, contando con un código de proyecto (P2408), el cual permite reconocer el proyecto que se está abarcando. A su vez, la pauta de mantenimiento cuenta con un código único específico (P2408-EXE-0000-ME-STD-0004) para su identificación y control tanto por la empresa asesora y mandante.

Asimismo, se especifican las distintas revisiones realizadas, incluyendo la fecha de emisión en cada etapa, desde la revisión interna (18/06/2024), comentarios del cliente (24/06/2024), hasta su versión final para uso (06/09/2024). También, se detallan los roles de las personas involucradas en el proceso dentro de la empresa asesora, indicando quién preparó, revisó y aprobó el documento. Además, se menciona a la persona responsable de la empresa mandante que revisó el contenido antes de su aplicación.

2.4.4. IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS

En este apartado del documento, se establecen los equipos, componentes e instrumentos de medición pertenecientes al subsistema de extracción de gases como se muestra en la ilustración 2.3-1 perteneciente en sistema de Lavado de gases.

Tabla 2.4-2: Identificación de equipos de subsistema de Lavador de Gases.

TAG	DESCRIPCIÓN	FABRICANTE MODELO	ESTADO
940-FAN-501	Ventilador Extractor	TWIN CITY FAN HIB-300 CLASE 20	Operativa
HV-1273	Dámper entrada extractor	REIMAQ RMDA - 654 - FRP	Operativa
EN-010	Junta de Expansión	Sin información	Operativa
PV-1275	Dámper salida extractor	REIMAQ RMDA - 645 x 760 - FRP	Operativa
V31	Válvula proporcional motorizada	Sin información	Operativa
PY-1275	Actuador eléctrico dámper salida extractor	NDELAC CONTROLS ML 4XB-F07-30-2S-P1-VP-TX-H	Operativa
EN-011	Junta de Expansión	Sin información	Operativa
940-FAN-502	Ventilador Extractor	TWIN CITY FAN HIB-300 CLASE 20	Stand-by
HV-1269	Dámper entrada extractor	REIMAQ RMDA - 654 - FRP	Stand-by
EN-008	Junta de Expansión	Sin información	Stand-by
PV-1271	Dámper salida extractor	REIMAQ RMDA - 645 x 760 - FRP	Stand-by
V31	Válvula proporcional motorizada	Sin información	Stand-by
PY-1271	Actuador eléctrico dámper salida extractor	NDELAC CONTROLS ML 4XB-F07-30-2S-P1-VP-TX-H	Stand-by
EN-009	Junta de Expansión	Sin información	Stand-by

Fuente: Elaboración propia mediante diagrama de flujo.

Como se observa en la tabla 2.4-1, se establecen un listado los equipos involucrados en la pauta de mantenimiento. Cada equipo es identificado mediante tag único, descripción propia, información referente a fabricante modelo y su estado operativo actual.

En el apartado de fabricante modelo, se encuentran componentes en calidad de “sin información” debido a la falta de información proporcionado por parte del vendedor. Como consecuencia, se han incluido tareas de mantenimiento genéricas.

Finalmente, es fundamental establecer el estado operativo actual de los equipos y componentes asociados, lo que permite clasificarlos en equipos:

- Operativo: Equipo en funcionamiento según requerimiento operativo.
- Stand-by: Equipo de respaldo en By-pass.
- Spare: Equipo almacenado en bodega, disponible para su utilización según requerimientos operativo.

2.4.5. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS

En esta sección del documento se detallan las características esenciales de los equipos, como materialidades, parámetros de funcionamiento y dimensiones. Esta información es de gran utilidad para el personal que utilice la pauta de mantenimiento, dado que permite realizar inspecciones y verificar si los equipos operan dentro de parámetros establecidos durante el proceso productivo. Asimismo, se incluye información complementaria de los equipos que, si bien no es esencial, pero resulta útil. Estos datos se detallan en el punto 9 de la pauta, bajo la sección “anexo”.

La pauta de mantenimiento cuenta con dos motores eléctricos y dos ventiladores extractores que se describen en la tabla 2.4-3; tabla 2.4-4; ilustración 2.4-1; ilustración 2.4-2.

Tabla 2.4-3: Descripción técnica Motor WEG – Ventiladores Extractores.

MOTOR	
Fabricante	WEG
Serie	MOTOR ESPECIAL
Carcasa	444/5TS
Potencia	100 [HP] o 75 [kW]
Polos	2
Frecuencia	50 [Hz]
Tensión nominal	380 [V]
Corriente nominal	140 [A]
Corriente de arranque	912 [A]
Corriente en vacío	30 [A]
Rotación nominal	2965 [rpm]
Clase de aislamiento	F
Elevación de temperatura	80 [°C]
Temperatura máxima recomendada en rodamientos	85 [°C]
Temperatura máxima exterior carcasa	135 [°C]
Rodamiento delantero y cantidad de lubricante	6314-C3
Rodamiento trasero y cantidad de lubricante	6314-C3
Cantidad lubricante rodamientos	27 [g]
Frecuencia de lubricación recomendada	5000 [h]
Tipo de Lubricante	MOBIL POLYREX EM
Tipo de arranque	Directa en 1° etapa de proyecto

Fuente: Pauta de mantenimiento Lavador de Gases.



Ilustración 2.4-1: Imagen referencial Motor WEG - Ventiladores Extractores.
Fuente: Pauta de mantenimiento Lavador de Gases.

Tabla 2.4-4: Descripción técnica Ventiladores Extractores.

VENTILADO	
Fabricante	TWIN CITY FAN (TCF)
Modelo	HIB-300 CLASE 20
Tipo	SWSI
Material	SS 316 CUERPO / DUPLEX 2205 RODETE
Porcentaje diámetro impulsor	93
Porcentaje ancho impulsor	100
Caudal	35.625 [Am³/h]
Presión estática	450 [mmca]
Temperatura operación	30°C
Acoplamiento	Directo
Tipo de acoplamiento	Flexible – T10-1080T
Revoluciones impulsor	2.908 [rpm]
Velocidad de salida	123,08 [m/s]
Potencia ventilador	63,09 [kW]
Elemento rodante descansos	Bolas
Cantidad cojinetes	2 (Fijo – Flotante)
Diámetro interno	2,6857 [plg] – 68,26 [mm]
Lubricante	Mobil Mobilith SHC100 / Mobil Mobilith SHC220 Mobil Ronex MP / Shell Gadus S2 V100 2
Peso de conjunto	916 [kg]

Fuente: Pauta de mantenimiento Lavador de Gases.

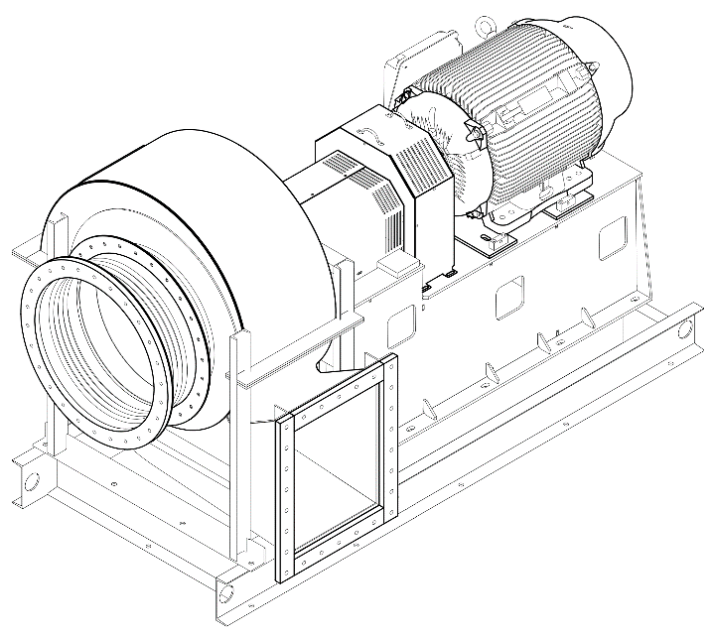


Ilustración 2.4-2: Imagen referencial conjunto Ventilador – Motor.
Fuente: Pauta de mantenimiento Lavador de Gases.

2.4.6. DOCUMENTOS RELACIONADOS

En esta sección, se detalla los documentos que se han utilizados para llevar a cabo la pauta de mantenimiento, los cuales sirven de apoyo y referencia al personal de mantenimiento si es requerido.

Para el desarrollo se emplearon los siguientes documentos:

- P&ID sistema Lavador de Gases.
- Diagrama de flujo.
- Manual de instalación, funcionamiento y mantenimiento.
- Manual de instalación, operación y mantenimiento.
- Guía de especificación de motores eléctricos.
- Hoja de datos motor ventilador extractor.
- Planos de ventiladores.
- Hoja de datos de ventilador extractor.
- Oferta técnica de sistema lavador de gases.

2.4.7. DOTACIÓN

Según la información disponible de la empresa mandante, es pertinente establecer dos turnos de trabajo con profesionales capacitados para garantizar la correcta ejecución de las tareas de mantenimiento durante la fase operativa del proyecto, esto se traduce en:

Tabla 2.4-5: Dotación de personal de mantenimiento.

TURNO DIURNO		TURNO NOCTURNO	
Supervisor	1	Supervisor	1
Electromecánico	3	Electromecánico	2
Instrumentista	1		

Fuente: Empresa mandante.

2.4.8. PLAN DE MANTENIMIENTO

En primera instancia se estandariza las actividades de mantenimiento agrupándolas en las siguientes categorías:

- Inspección visual: Examinar físicamente un equipo, componente o instalación para detectar signos visibles de desgaste, daño, deterioro, mal funcionamiento o anomalías.
- Inspección de condición: Técnica de mantenimiento predictivo que se utiliza para evaluar el estado operativo de un equipo o sistema mediante monitoreo y análisis de diversas variables y parámetros. El objetivo principal de la inspección de condición es detectar y diagnosticar posibles fallos antes que ocurran, permitiendo así tomar acciones correctivas de manera planificada y/o minimizando tiempos de inactividad y costos de reparación.

- **Lubricación:** Aplicación de lubricantes a las partes móviles de un equipo para reducir la fricción y el desgaste, asegurando un funcionamiento suave y eficiente.
- **Prueba de control:** Procedimientos que utilizan instrumentos de medición y control. Estas pruebas se centran en la monitorización y análisis de diversos parámetros mediante el uso de sensores, herramientas y dispositivos especializados.
- **Prueba de funcionamiento:** Evaluación operativa de un equipo o sistema para verificar que todas sus funciones y componentes operan correctamente según las especificaciones y estándares establecidos.
- **Evaluación y optimización del Sistema:** Revisar el rendimiento global de un sistema o equipo y realizar los ajustes necesarios para mejorar su eficiencia y efectividad operativa.

Una vez que se definen las actividades de mantenimiento, se establece la frecuencia con la que se deben realizar según las especificaciones técnicas proporcionadas por el vendedor de los equipos, como manuales de instalación y mantenimiento, planos, fichas técnicas y ofertas comerciales. Estos documentos sirven de apoyo para el personal encargado de desarrollar la pauta de mantenimiento.

Las frecuencias se categorizan en semanal, mensual, trimestral y semestral y con esta información que se realiza el plan de mantenimiento con tareas programadas para los equipos y componentes en estado operativo y stand-by como se muestra en la tabla 2.4-6; tabla 2.4-7; tabla 2.4-8.

Tabla 2.4-6: Plan de mantenimiento Ventiladores Extractores.

ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO VENTILADORES EXTRACTORES	
FRECUENCIA	ACTIVIDAD
Semanal	Inspección visual
	Verificar que extractor, piping y válvulas no presenten señales de fugas o desgaste. Evitar acumulación excesiva de polvo o residuos en tomas de aire y exterior de carcasa del motor.
	Inspección de condición
	Inspeccionar descansos y re lubricar según estado de grasa, considerando frecuencia recomendada establecida en manual de operación y mantenimiento.
	Monitorear niveles de ruido y temperatura de equipos con equipos correspondientes para evitar condiciones indeseadas de operación.
Mensual	Inspeccionar que guarda de seguridad del acoplamiento y rodamientos no presenten signos de deterioro o soltura mecánica.
	Inspección de condición
	Inspeccionar que las válvulas manuales y pilotadas abran y cierren con suavidad para verificar su buen estado operacional. Limpiar residuos que puedan afectar su rendimiento.
	Inspeccionar conexiones eléctricas y mecánicas de actuador para asegurar firmeza y evitar presencia de signos de desgaste o corrosión.
	Verificar y ajustar calibración en válvulas y relés de presión según los estándares requeridos para mantener precisión.
	Monitorear vibraciones de equipo para detectar posibles desbalances o problemas en rodamientos y/o acoplamiento entre extractor y motor.

Fuente: Pauta de mantenimiento Lavador de Gases.

Tabla 2.4-7: Plan de mantenimiento Ventiladores Extractores (Continuación).

ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO VENTILADORES EXTRACTORES	
Continuación	
FRECUENCIA	ACTIVIDAD
Trimestral	Inspección de condición
	Inspeccionar componentes internos como aspas del ventilador y sistema de sellado. Limpiar o reemplazar componentes según su estado.
	Comprobar la integridad y apriete de todos los elementos de fijación de motor y extractor.
	Comprobar estado de componentes eléctricos de motor, incluidos cables y conexiones verificando que no existan posibles sobrecalentamientos según su estado.
	Inspeccionar que acoplamiento de motor/extractor no presente daños y/o desgaste.
	Inspeccionar estado de válvulas, realizando un mantenimiento preventivo y/o calibración según estado.
	Limpiar sensores y conexiones para eliminar cualquier acumulación que podría afectar su funcionamiento.
Semestral	Inspección de condición
	Inspeccionar equipo ventilador extractor y realizar reemplazo de componentes tales como rodamientos, juntas, sellos, según su estado.
	Renovar lubricante en rodamientos de motor eléctrico para un correcto funcionamiento.
	Evaluación y optimización de sistema
	Realizar prueba completa del subsistema para evaluar capacidad de extracción y funcionamiento de motor. Ajustar configuraciones si se evidencia disminución de eficiencia.

Fuente: Pauta de mantenimiento Lavador de Gases.

Tabla 2.4-8: Plan de mantenimiento Ventiladores Extractores Stand-by.

ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO VENTILADORES EXTRACTORES	
EQUIPO STAND-BY	
FRECUENCIA	ACTIVIDAD
Trimestral	Prueba de funcionamiento
	Verificar que no haya daños y obstrucciones en el extractor para realizar una prueba de funcionamiento.
	Inspeccionar que las válvulas manuales y pilotadas abran y cierren con suavidad para verificar su buen estado operacional.
	Verificar estado de lubricante en descansos de ventilador extractor, re lubricar según su estado y realizar giro manual del eje.
	Inspeccionar correcto funcionamiento de accesorios de presión presentes en línea Stand By, calibrar si es necesario.

Fuente: Pauta de mantenimiento Lavador de Gases.

2.4.9. LISTADO DE REPUESTOS E INSUMOS

Este apartado contiene un listado detallado de los repuestos e insumos necesarios suministrados por el proveedor para llevar a cabo las actividades de mantenimiento para los equipos involucrados. Dichos insumos y repuestos han sido determinados en función de los requerimientos específicos de los equipos mencionados en el punto 2.4.5, asegurando así la disponibilidad de los componentes adecuados para cada intervención. Estos insumos y repuestos se describen en la tabla 2.4-9.

Tabla 2.4-9: Listado de repuesto e insumos.

EQUIPO	INSUMOS
EXTRACTOR TCF HIB-300 CLASE 20	Lubricante MOBIL POLYREX EM
EQUIPO	REPUESTOS
MOTOR WEG-W22 NEMA PREMIUM EFFICIENCY	Rodamiento delantero 6314-C3
	Rodamiento trasero 6314-C3
	INSUMOS
	Lubricante MOBIL POLYREX EM

Fuente: Pauta de mantenimiento Lavador de Gases.

2.5. PAUTA DE MANTENIMIENTO

En esta sección se presenta la estructura final del documento, que abarca la pauta de mantenimiento del sistema Lavador de Gases, incluyendo todos los equipos de este sistema. Sin embargo, con fines explicativos, el contenido se ajusta específicamente al equipo Ventiladores Extractores. Del mismo modo, este mismo procedimiento se aplica a todos los activos de la planta, lo que implica la elaboración de aproximadamente 45 documentos.

Work Management

Pauta Mantenimiento Lavador de Gases

0	06/09/2024	Uso					
B	24/06/2024	Comentarios Cliente					
A	18/06/2024	Revisión Interna					
Revisión	Fecha	Emitido para	Preparó	Revisó	Aprobó	Cliente	Cliente
P2408			Nº P2408-EXE-0000-ME-STD-0004 Nº CLIENTE P2408-EXE-0000-ME-STD-0004				0

Ilustración 2.5-1: Portada Pauta de mantenimiento Lavador de Gases.
Fuente: Pauta de mantenimiento Lavador de Gases.

Índice	
1. Introducción	1
2. Objetivo y alcance	1
2.1. Objetivo del documento	1
2.2. Alcance del documento	1
2.3. Exclusiones.....	1
3. Identificación de equipos y componentes de subsistemas.....	2
3.1. Identificación de equipos y componentes Ventiladores Extractores	2
4. Descripción de equipos	3
4.1. Descripción Ventiladores Extractores.....	3
5. Documentos relacionados.....	5
5.1. Documentos referenciales Ventiladores Extractores	5
6. Dotación de personal	5
7. Plan de mantenimiento preventivo	6
7.1. Plan de Mantenimiento Preventivo Ventiladores Extractores	6
8. Listado de repuestos e insumos	8
8.1. Listado repuestos e insumos Ventiladores Extractores.....	8
9. Checklist	9
9.1. Checklist Ventiladores Extractores	9
9.1.1. Frecuencia Semanal	9
9.1.2. Frecuencia Mensual	10
9.1.3. Frecuencia Trimestral.....	11
9.1.4. Frecuencia Trimestral equipo Stand By	12
9.1.5. Frecuencia Semestral	13
10. Anexos.....	14
10.1. Anexos Ventiladores Extractores	14
Índice de Tablas	
Tabla 3-1: Identificación de componentes y equipos de subsistema Ventiladores Extractores.....	2
Tabla 4-1: Descripción técnica Motor WEG – Ventiladores Extractores.....	3
Tabla 4-2: Descripción técnica Ventilador Extractor.....	4
Tabla 5-1: Documentos Ventiladores Extractores	5
Tabla 6-1: Dotación de personal de Mantenimiento	5
Tabla 7-1: Actividades de mantenimiento Ventiladores Extractores	6
Tabla 7-2: Plan de Mantenimiento Ventiladores Extractores Stand By.....	7
Tabla 8-1: Repuestos e insumos Ventiladores Extractores	8
Tabla 10-1: Temperatura límite motores según clase de aislamiento.....	14
Tabla 10-2: Frecuencia de lubricación en descansos de eje de ventilador.....	14
Tabla 10-3: Aspectos de lubricación en rodamientos de Motor WEG.....	14
Tabla 10-4: Tabla de componentes equipo ventilador extractor.....	15
Índice de Figuras	
Figura 4-1: Imagen referencial Motor WEG – Ventiladores Extractores	3
Figura 4-2: Imagen referencial conjunto Ventilador - Motor.....	4
Figura 10-1: Plano isométrico de conjunto Motor – Ventilador Extractor y componentes	15

Ilustración 2.5-2: Índice Pauta de mantenimiento Lavador de Gases.
Fuente: Pauta de mantenimiento Lavador de Gases.

1. Introducción

[] ha desarrollado un proceso denominado [] para lixiviación de calcopirita. Como parte de su desarrollo, se ha dispuesto la construcción de una Planta Piloto denominada [] [] cuyo propósito es verificar el funcionamiento del proceso a escala industrial.

Este proyecto se encuentra en su fase de construcción, por lo que se está desarrollando las actividades necesarias para la transición hacia la operación.

[] ha solicitado a [] el desarrollo del plan de mantenimiento con el fin de identificar las actividades críticas de las instalaciones construidas y los recursos necesarios para mantener los activos disponibles para la operación.

2. Objetivo y alcance

2.1. Objetivo del documento

El objetivo de este plan de mantenimiento consiste en establecer las tareas y frecuencias necesarias para mantener todos los subsistemas asociados a Sistema de Lavado de Gases en un estado operativo optimo. Se ha considerado un año calendario de operación.

2.2. Alcance del documento

La aplicación de lo dispuesto en este documento abarca los equipos asociados a los subsistemas que tienen relación con sistema Lavador de Gases, abarcando subsistema de [], [], ventiladores extractores de gases y [] en la planta [], situada en Minera [].

2.3. Exclusiones

Quedarán excluidos del alcance de esta especificación todos los equipos que no estén expresamente mencionados en el presente documento.

3. Identificación de equipos y componentes de subsistemas

En esta sección se establece toda información alusiva a componente, equipos e instrumentos pertenecientes a subsistemas presentes en Sistema de Lavado de Gases.

3.1. Identificación de equipos y componentes Ventiladores Extractores

Tabla 3-1: Identificación de componentes y equipos de subsistema Ventiladores Extractores

TAG	DESCRIPCIÓN	FABRICANTE MODELO	ESTADO
940-FAN-501	Ventilador Extractor	TWIN CITY FAN HIB-300 CLASE 20	Operativa
HV-1273	Dámper entrada extractor	REIMAQ RMDA - 654 - FRP	Operativa
EN-010	Junta de Expansión	Sin información	Operativa
PV-1275	Dámper salida extractor	REIMAQ RMDA - 645 x 760 - FRP	Operativa
V31	Válvula proporcional motorizada	Sin información	Operativa
PY-1275	Actuador eléctrico dámper salida extractor	NDELAC CONTROLS ML 4XB-F07-30-2S-P1-VP-TX-H	Operativa
EN-011	Junta de Expansión	Sin información	Operativa
940-FAN-502	Ventilador Extractor	TWIN CITY FAN HIB-300 CLASE 20	Stand-by
HV-1269	Dámper entrada extractor	REIMAQ RMDA - 654 - FRP	Stand-by
EN-008	Junta de Expansión	Sin información	Stand-by
PV-1271	Dámper salida extractor	REIMAQ RMDA - 645 x 760 - FRP	Stand-by
V31	Válvula proporcional motorizada	Sin información	Stand-by
PY-1271	Actuador eléctrico dámper salida extractor	NDELAC CONTROLS ML 4XB-F07-30-2S-P1-VP-TX-H	Stand-by
EN-009	Junta de Expansión	Sin información	Stand-by

Ilustración 2.5-3: Extracto de Pauta de mantenimiento Lavador de Gases.
Fuente: Pauta de mantenimiento Lavador de Gases.

4. Descripción de equipos

A continuación, se describen componentes, materiales, parámetros y dimensiones que conforman subsistemas involucrados en Lavado de Gases.

4.1. Descripción Ventiladores Extractores

Tabla 4-1: Descripción técnica Motor WEG – Ventiladores Extractores

MOTOR	
Fabricante	WEG
Serie	MOTOR ESPECIAL
Carcasa	444/5TS
Potencia	100 [HP] o 75 [kW]
Polos	2
Frecuencia	50 [Hz]
Tensión nominal	380 [V]
Corriente nominal	140 [A]
Corriente de arranque	912 [A]
Corriente en vacío	30 [A]
Rotación nominal	2965 [rpm]
Clase de aislamiento	F
Elevación de temperatura	80 [°C]
Temperatura máxima recomendada en rodamientos	85 [°C]
Temperatura máxima exterior carcasa	135 [°C]
Rodamiento delantero y cantidad de lubricante	6314-C3
Rodamiento trasero y cantidad de lubricante	6314-C3
Cantidad lubricante rodamientos	27 [g]
Frecuencia de lubricación recomendada	5000 [h]
Tipo de Lubricante	MOBIL POLYREX EM
Tipo de arranque	Directa en 1° etapa de proyecto



Figura 4-1: Imagen referencial Motor WEG – Ventiladores Extractores

Ilustración 2.5-4: Descripción de equipo de subsistema de Lavador de Gases.
Fuente: Pauta de mantenimiento Lavador de Gases.

Tabla 4-2: Descripción técnica Ventilador Extractor	
VENTILADOR	
Fabricante	TWIN CITY FAN (TCF)
Modelo	HIB-300 CLASE 20
Tipo	SWSI
Material	SS 316 CUERPO / DUPLEX 2205 RODETE
Porcentaje diámetro impulsor	93
Porcentaje ancho impulsor	100
Caudal	35.625 [Am³/h]
Presión estática	450 [mmca]
Temperatura operación	30°C
Acoplamiento	Directo
Tipo de acoplamiento	Flexible – T10-1080T
Revoluciones impulsor	2.908 [rpm]
Velocidad de salida	123,08 [m/s]
Potencia ventilador	63,09 [kW]
Elemento rodante descansos	Bolas
Cantidad cojinetes	2 (Fijo – Flotante)
Diámetro interno	2,6857 [plg] – 68,26 [mm]
Lubricante	Mobil Mobilith SHC100 / Mobil Mobilith SHC220 Mobil Ronex MP / Shell Gadus S2 V100 2
Peso de conjunto	916 [kg]

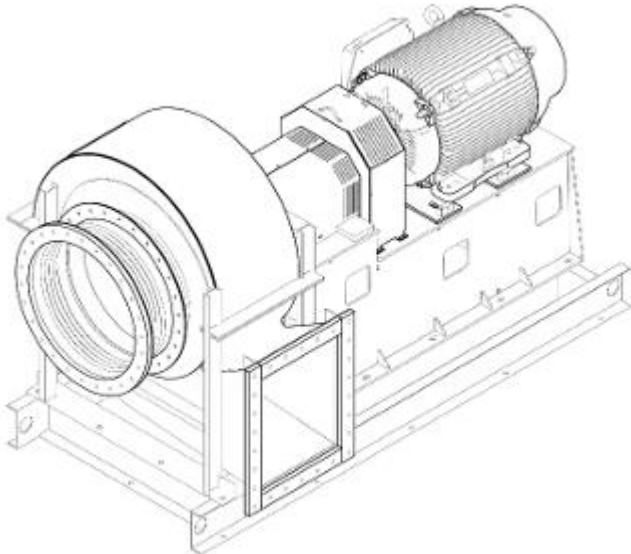


Figura 4-2: Imagen referencial conjunto Ventilador - Motor

Ilustración 2.5-5: Descripción de equipo de subsistema de Lavador de Gases (Continuación).
Fuente: Pauta de mantenimiento Lavador de Gases.

5. Documentos relacionados

Los documentos listados a continuación, forman parte de esta especificación. Los servicios, mano de obra, materiales y equipos han sido incluidos según los requerimientos indicados en estos documentos.

5.1. Documentos referenciales Ventiladores Extractores

Tabla 5-1: Documentos Ventiladores Extractores

DOCUMENTO	DESCRIPCIÓN
0940-IC-PID-33001_P3	P&ID sistema lavador de gases.
0940-PR-PFD-33001_P3	Diagrama de flujo.
MANUAL VENTILADOR	Manual de instalación, funcionamiento y mantenimiento.
WEG-WMO-IOM	Manual de instalación, operación y mantenimiento.
WEG-specification-of-electric-motors	Guía de especificación de motores eléctricos.
0940-EL-DAS-33004_P	Hoja de datos motor ventilador extractor.
0940-EN-GST-33019_P2	Planos de ventiladores.
0940-ME-DAS-33004_P	Hoja de datos de ventilador extractor.
Oferta Técnica rev 2	Oferta técnica de sistema lavador de gases.

6. Dotación de personal

Según la información que se posee de acuerdo con el contexto operacional de los equipos en cuestión y el proceso productivo como tal, es pertinente establecer turnos con cantidad base de personal, eso se traduce en:

Tabla 6-1: Dotación de personal de Mantenimiento

TURNO DIURNO		TURNO NOCTURNO	
Supervisor	1	Supervisor	1
Electromecánico	3	Electromecánico	2
Instrumentista	1		

7. Plan de mantenimiento preventivo

A continuación, se mencionan las actividades de mantenimiento relacionadas con Sistema Lavador de Gases, esto involucra a planes de mantenimiento de cada subsistema presente en proceso de dicho sistema. En capítulo 9 se presentan Checklist de inspección para cada frecuencia según respectivo subsistema.

El sistema de Lavado de Gases recae en categoría de criticidad media según criterios establecidos.

Ilustración 2.5-6: Extracto de Pauta de mantenimiento Lavador de Gases.
Fuente: Pauta de mantenimiento Lavador de Gases.

7.1. Plan de Mantenimiento Preventivo Ventiladores Extractores

Tabla 7-1: Actividades de mantenimiento Ventiladores Extractores

ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO VENTILADORES EXTRACTORES	
FRECUENCIA	ACTIVIDAD
Semanal	Inspección visual
	Verificar que extractor, piping y válvulas no presenten señales de fugas o desgaste. Evitar acumulación excesiva de polvo o residuos en tomas de aire y exterior de carcasa del motor.
	Inspección de condición
	Inspeccionar descansos y re lubricar según estado de grasa, considerando frecuencia recomendada establecida en manual de operación y mantenimiento.
	Monitorear niveles de ruido y temperatura de equipos con equipos correspondientes para evitar condiciones indeseadas de operación.
Mensual	Inspeccionar que guarda de seguridad del acoplamiento y rodamientos no presenten signos de deterioro o soltura mecánica.
	Inspección de condición
	Inspeccionar que las válvulas manuales y pilotadas abran y cierren con suavidad para verificar su buen estado operacional. Limpiar residuos que puedan afectar su rendimiento.
	Inspeccionar conexiones eléctricas y mecánicas de actuador para asegurar firmeza y evitar presencia de signos de desgaste o corrosión.
	Verificar y ajustar calibración en válvulas y relés de presión según los estándares requeridos para mantener precisión.
Trimestral	Monitorear vibraciones de equipo para detectar posibles desbalances o problemas en rodamientos y/o acoplamiento entre extractor y motor.
	Inspección de condición
	Inspeccionar componentes internos como aspas del ventilador y sistema de sellado. Limpiar o reemplazar componentes según su estado.
	Comprobar la integridad y apriete de todos los elementos de fijación de motor y extractor.
	Comprobar estado de componentes eléctricos de motor, incluidos cables y conexiones verificando que no existan posibles sobrecalentamientos según su estado.

ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO VENTILADORES EXTRACTORES	
Continuación	
FRECUENCIA	ACTIVIDAD
Trimestral	Inspección de condición
	Inspeccionar que acoplamiento de motor/extractor no presente daños y/o desgaste.
	Inspeccionar estado de válvulas, realizando un mantenimiento preventivo y/o calibración según estado.
	Limpiar sensores y conexiones para eliminar cualquier acumulación que podría afectar su funcionamiento.
Semestral	Inspección de condición
	Inspeccionar equipo ventilador extractor y realizar reemplazo de componentes tales como rodamientos, juntas, sellos, según su estado.
	Renovar lubricante en rodamientos de motor eléctrico para un correcto funcionamiento.
	Evaluación y optimización de sistema
	Realizar prueba completa del subsistema para evaluar capacidad de extracción y funcionamiento de motor. Ajustar configuraciones si se evidencia disminución de eficiencia.

Ilustración 2.5-7: Plan de mantenimiento preventivo a subsistema de Lavador de Gases.
Fuente: Pauta de mantenimiento Lavador de Gases.

Tabla 7-2: Plan de Mantenimiento Ventiladores Extractores Stand By

ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO VENTILADORES EXTRACTORES	
EQUIPO STAND-BY	
FRECUENCIA	ACTIVIDAD
Trimestral	Prueba de funcionamiento
	Verificar que no haya daños y obstrucciones en el extractor para realizar una prueba de funcionamiento.
	Inspeccionar que las válvulas manuales y pilotadas abran y cierren con suavidad para verificar su buen estado operacional.
	Verificar estado de lubricante en descansos de ventilador extractor, re lubricar según su estado y realizar giro manual del eje.
	Inspeccionar correcto funcionamiento de accesorios de presión presentes en línea Stand By, calibrar si es necesario.

8. Listado de repuestos e insumos

En este apartado se encuentran listados los repuestos e insumos requeridos según las actividades de mantenimiento respecto a equipos establecidos en punto tres.

8.1. Listado repuestos e insumos Ventiladores Extractores

Tabla 8-1: Repuestos e insumos Ventiladores Extractores

EQUIPO	INSUMOS
EXTRACTOR TCF HIB-300 CLASE 20	Lubricante MOBIL POLYREX EM
EQUIPO	REPUESTOS
MOTOR WEG-W22 NEMA PREMIUM EFFICIENCY	Rodamiento delantero 6314-C3
	Rodamiento trasero 6314-C3
	INSUMOS
	Lubricante MOBIL POLYREX EM

Ilustración 2.5-8: Extracto de Pauta de mantenimiento Lavador de Gases.
Fuente: Pauta de mantenimiento Lavador de Gases.

9. Checklist

9.1. Checklist Ventiladores Extractores

9.1.1. Frecuencia Semanal

CHECKLIST						
Lista de actividades - Frecuencia: Semanal		Resultados inspección	Ejecutor	Apellido	Firma	Fecha
Tarea	Inspección visual					
1	Verificar que extractor, piping, válvulas e indicadores no presenten señales de fugas o desgaste. Evitar acumulación excesiva de polvo o residuos en tomas de aire y exterior de carcasa del motor.	Normal				
		Deficiente				
Tarea Inspección de condición						
2	Monitorear el nivel de ruido y temperatura de equipos para evitar condiciones indeseadas de operación.	Normal				
		Deficiente				
3	Inspeccionar descansos y realizar relubricación según frecuencia establecida en manual de operación y mantenimiento.	Normal				
		Deficiente				
4	Inspeccionar que guarda de seguridad del acoplamiento y rodamientos no presenten signos de deterioro o soldadura mecánica.	Normal				
		Deficiente				
Observaciones:						

9.1.2. Frecuencia Mensual

CHECKLIST						
Lista de actividades - Frecuencia: Mensual		Resultados inspección	Ejecutor	Apellido	Firma	Fecha
Tarea	Inspección de condición					
1	Inspeccionar que las válvulas manuales y pilotadas abran y cierren con suavidad para verificar su buen estado operacional. Limpiar residuos que puedan afectar su rendimiento.	Normal				
		Deficiente				
2	Inspeccionar conexiones eléctricas y mecánicas de actuador para asegurar firmeza y evitar presencia de signos de desgaste o corrosión.	Normal				
		Deficiente				
3	Verificar y ajustar la calibración en válvulas y relés de presión según los estándares requeridos para mantener precisión.	Normal				
		Deficiente				
4	Monitorear vibraciones de equipo para detectar posibles desbalances o problemas en rodamientos y/o acoplamiento entre extractor y motor.	Normal				
		Deficiente				
Observaciones:						

Ilustración 2.5-9: Checklist de mantenimiento.
Fuente: Pauta de mantenimiento Lavador de Gases.

9.1.3. Frecuencia Trimestral

CHECKLIST

Lista de actividades - Frecuencia: Trimestral		Resultados inspección		Ejecutor	Apellido	Firma	Fecha
Tarea	Inspección de condición						
1	Inspeccionar componentes internos como aspas del ventilador y sistema de sellado. Limpiar o reemplazar componentes según su estado.	Normal					
		Deficiente					
2	Comprobar la integridad y apriete de todos los elementos de fijación de motor y extractor.	Normal					
		Deficiente					
3	Comprobar estado de componentes eléctricos de motor, incluidos cables y conexiones verificando que no existan posibles sobrecalentamientos según su estado.	Normal					
		Deficiente					
4	Inspeccionar que acoplamiento de motor/extractor no presente daños y/o desgaste.	Normal					
		Deficiente					
5	Inspeccionar estado de instrumentos de presión, realizando un mantenimiento preventivo y/o calibración según estado.	Normal					
		Deficiente					
6	Limpiar sensores y conexiones para eliminar cualquier acumulación que podría afectar su funcionamiento.	Normal					
		Deficiente					
Observaciones:							

Ilustración 2.5-10: Checklist de mantenimiento (Continuación).
Fuente: Pauta de mantenimiento Lavador de Gases.

9.1.4. Frecuencia Trimestral equipo Stand By

CHECKLIST

EQUIPO STAND BY		Resultados inspección	Ejecutor	Apellido	Firma	Fecha
Lista de actividades - Frecuencia: Trimestral						
Tarea	Prueba de funcionamiento					
1	Verificar que no haya daños y obstrucciones en el extractor para realizar una prueba de funcionamiento.	Normal				
		Deficiente				
2	Inspeccionar que las válvulas manuales y pilotadas abran y cierren con suavidad para verificar su buen estado operacional.	Normal				
		Deficiente				
3	Verificar estado de lubricante en descansos de ventilador extractor, re lubricar según su estado y realizar giro manual del eje.	Normal				
		Deficiente				
4	Inspeccionar correcto funcionamiento de accesorios de presión presentes en línea Stand By, calibrar si es necesario.	Normal				
		Deficiente				
Observaciones:						

9.1.5. Frecuencia Semestral

CHECKLIST

Lista de actividades - Frecuencia: Semestral		Resultados inspección	Ejecutor	Apellido	Firma	Fecha
Tarea	Inspección de condición					
1	Inspeccionar equipo ventilador extractor y realizar reemplazo de componentes tales como rodamientos, juntas, sellos, según su estado.	Normal				
		Deficiente				
2	Renovar lubricante en rodamientos de motor eléctrico para un correcto funcionamiento.	Normal				
		Deficiente				
Tarea	Evaluación y optimización de sistema					
3	Realizar prueba completa del subsistema para evaluar capacidad de extracción y funcionamiento de motor. Ajustar configuraciones si se evidencia disminución de eficiencia.	Normal				
		Deficiente				
Observaciones:						

Ilustración 2.5-11: Checklist de mantenimiento (Continuación).
Fuente: Pauta de mantenimiento Lavador de Gases.

10. Anexos

10.1. Anexos Ventiladores Extractores

Tabla 10-1: Temperatura límite motores según clase de aislamiento

Temperatura ambiente Máximo 40°C	
Clase	Sobre temperatura
E	120°C
B	130°C
F	155°C
H	180°C

Tabla 10-2: Frecuencia de lubricación en descansos de eje de ventilador

Ventiladores con cojinetes de bola									
Calendario de relubricación (semanas)*									
Chumaceras de almohadillas de los cojinetes de bolas									
Diámetro del eje	Velocidad (rpm)								
	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500
1/2" hasta 1 1/16" (13 – 45)	6	6	5	3	3	2	2	2	1
1 15/16" hasta 2 7/16" (50 – 60)	6	5	4	2	2	1	1	1	1
2 11/16" hasta 2 15/16" (65 – 75)	5	4	3	2	1	1	1	–	–
3 7/16" hasta 3 15/16" (90 – 100)	4	3	2	1	1	–	–	–	–

*Intervalo de lubricación sugerido en operación continua con cargas adversas o con temperaturas elevadas. Para el funcionamiento de menos de 24 horas al día o en condiciones ideales, la frecuencia de lubricación puede reducirse. Vuelva a lubricar cuando está en marcha, si la seguridad lo permite, hasta que se produzca una cierta purga en las juntas. Ajuste la frecuencia de lubricación en función del estado de la grasa purgada. Las horas de funcionamiento, la temperatura y las condiciones del entorno afectarán a la frecuencia de repetición de la lubricación.

Tabla 10-3: Aspectos de lubricación en rodamientos de Motor WEG

	Delantero	Trasero
Tipo de cojinete	6314-C3	6314-C3
Intervalo de lubricación	5000 h	5000 h
Cantidad de lubricante	27 g	27 g
Tipo de lubricante	MOBIL POLYREX EM	

Ilustración 2.5-12: Anexo Pauta de mantenimiento Lavador de Gases.
Fuente: Pauta de mantenimiento Lavador de Gases.

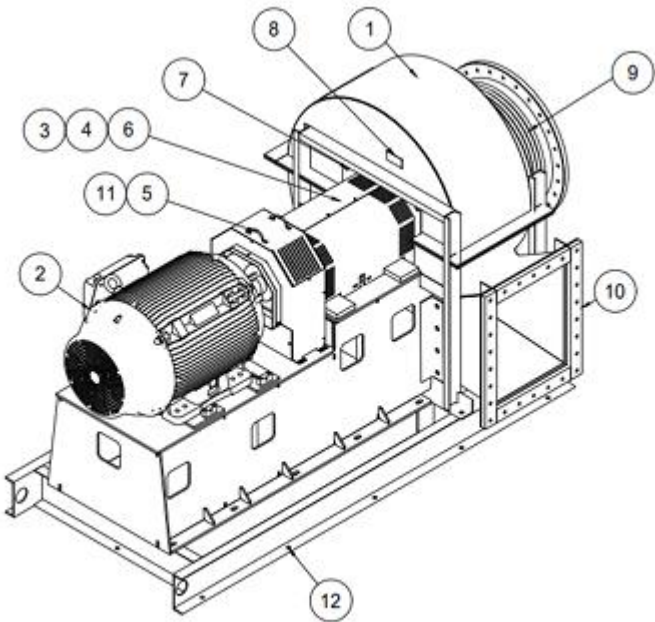


Figura 10-1: Plano isométrico de conjunto Motor – Ventilador Extractor y componentes

Tabla 10-4: Tabla de componentes equipo ventilador extractor

CUADRO DE COMPONENTES		
ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	2	VENTILADOR WLDMT/ASSY
2	2	MOTOR 75 kw, 2965 RPM, 3/50/380V, TEFC-PREM, 444TS, FURN. Y MTD POR OTROS
3	2	RODAMIENTO DEL LADO DE IMPULSIÓN Ø2.6875" ALTA VELOCIDAD HVY. BOLA DE SERVICIO (FLOTADOR)
4	2	RODAMIENTO DEL LADO DE IMPULSIÓN Ø2.6875" ALTA VELOCIDAD HVY. BOLA DE SERVICIO (FIJA)
5	2	PROTECCIÓN DE ACOPLAMIENTO RAL – 1006 AMARILLO MAÍZ
6	2	PROTECCIÓN DE EJE Y COJINETE RAL – 1006 AMARILLO MAÍZ
7	2	SELLO EJE ESTÁNDAR
8	2	ETIQUETA DE ROTACIÓN
9	2	JUNTA FLEXIBLE DE ENTRADA BRIDAS DE ACERO INOXIDABLE 316, MANGA EPDM, 8" C/C
10	2	JUNTA FLEXIBLE DE SALIDA 316 BRIDAS DE ACERO INOXIDABLE, MANGA EPDM, 8" C/C
11	2	ACOPLAMIENTO T10-1080T – ALINEACIÓN FINAL EN CAMPO POR OTRAS (NOTA E)
12	2	BASTIDOR C8 x 11.5# CANALES (SIN AISLADORES)

Ilustración 2.5-13: Anexo Pauta de mantenimiento Lavador de Gases (Continuación).
Fuente: Pauta de mantenimiento Lavador de Gases.

CAPÍTULO 3: **MASTERPLAN DE MANTENIMIENTO**

3.1. INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se desarrolla el Masterplan de mantenimiento, basado en la totalidad de las pautas de mantenimiento de la planta, con el objetivo de planificar y programar las actividades de los equipos para garantizar la operatividad, confiabilidad, eficiencia y disponibilidad de los equipos, considerando únicamente un año de operación.

3.2. CONSIDERACIONES GENERALES

Para la estructuración del plan de mantenimiento se han establecido las siguientes consideraciones:

- El Masterplan de mantenimiento considera exclusivamente un periodo de ejecución de 1 año (52 semanas).
- Durante la visita de personal especializado para ejecutar las actividades de mantenimiento, un mantenedor debe asistir para maniobras de bloqueo de energía al equipo que será intervenido.
- El programa no considera actividades de mantenimiento correctivo. Estas deberán ser definidas por el equipo de inspección e incluidas en el programa de actividades por el programador de corto plazo.

Siguiendo con las consideraciones establecidas, se presentan tres escenarios de dotación del equipo de mantenimiento para realizar la estimación de carga de trabajo. Esta evaluación considera factores como la cantidad de personal requerido y especialidades con el objetivo de optimizar los recursos y garantizar la eficiencia operativa.

a) Escenario 1

Tabla 3.2-1: Dotación de personal Escenario 1.

Turno	Dotación	Especialidad
Día	1	Supervisor
	3	Electromecánico
	1	Instrumentista
Noche	1	Supervisor
	2	Electromecánico

Fuente: Masterplan de Mantenimiento.

b) Escenario 2

Tabla 3.2-2: Dotación de personal Escenario 2.

Turno	Dotación	Especialidad
Día	1	Supervisor
	4	Electromecánico
	1	Instrumentista
Noche	1	Supervisor
	2	Electromecánico

Fuente: Masterplan de Mantenimiento.

c) Escenario 3

Tabla 3.2-3: Dotación de personal Escenario 3.

Turno	Dotación	Especialidad
Día	1	Supervisor
	5	Electromecánico
	1	Instrumentista
Noche	0	Sin dotación

Fuente: Masterplan de Mantenimiento.

Los posibles escenarios de dotación de personal están estrechamente vinculados a la diversidad de equipos que deben ser inspeccionados y mantenido durante la ejecución de pruebas de lixiviación. Aunque, las pautas de mantenimiento consideran una dotación de 8 personas como se muestra en el Escenario 1, del mismo modo se consideran Escenario 2 y 3 para afrontar cualquier imprevisto que pueda surgir durante la ejecución del plan de mantenimiento.

El listado detallado de pautas de mantenimiento que se presentan a continuación son esenciales para realizar del Masterplan.

Tabla 3.2-4: Documentos de referencia Masterplan.

Documento	Descripción
P2408-EXE-0000-ME-INF-0001	Política y estrategia de Mantenimiento - NDHL
P2408-EXE-0000-ME-STD-0001	Pauta Mantenimiento Duchas de emergencia
P2408-EXE-0000-ME-STD-0002	Pauta Mantenimiento Bombas duchas de emergencia
P2408-EXE-0000-ME-STD-0003	Pauta Mantenimiento Estanque de Inoculación
P2408-EXE-0000-ME-STD-0004	Pauta Mantenimiento Lavador de gases

Fuente: Masterplan de Mantenimiento.

Tabla 3.2-5: Documentos de referencia Masterplan (Continuación).

Documento	Descripción
P2408-EXE-0000-ME-STD-0005	Pauta Mantenimiento Mezclador decantador
P2408-EXE-0000-ME-STD-0006	Pauta Mantenimiento Mezclador Estático
P2408-EXE-0000-ME-STD-0007	Pauta Mantenimiento Estanque de Nitrato
P2408-EXE-0000-ME-STD-0008	Pauta Mantenimiento Alimentación de Nitrato
P2408-EXE-0000-ME-STD-0009	Pauta Mantenimiento Sopladores de Inyección 1 y 2
P2408-EXE-0000-ME-STD-0010	Pauta Mantenimiento Intercambiador de calor Reino Riego Chancado
P2408-EXE-0000-ME-STD-0011	Pauta Mantenimiento Bombas de Solución Nitrato
P2408-EXE-0000-ME-STD-0012	Pauta Mantenimiento Bomba de Inoculación
P2408-EXE-0000-ME-STD-0013	Pauta Mantenimiento Bombas Estanque de Riego Inóculo
P2408-EXE-0000-ME-STD-0014	Pauta Mantenimiento Bombas de Refino a Mineral ROM
P2408-EXE-0000-ME-STD-0015	Pauta Mantenimiento Bombas de Refino a Mineral Chancado
P2408-EXE-0000-ME-STD-0016	Pauta Mantenimiento Bombas de PLS
P2408-EXE-0000-ME-STD-0017	Pauta Mantenimiento Bombas Piscina de emergencia
P2408-EXE-0000-ME-STD-0018	Pauta Mantenimiento Bomba de Orgánico
P2408-EXE-0000-ME-STD-0019	Pauta Mantenimiento Bomba de acuoso recuperador estanque orgánico
P2408-EXE-0000-ME-STD-0020	Pauta Mantenimiento Bombas Piscina de Retención
P2408-EXE-0000-ME-STD-0021	Pauta Mantenimiento Bomba de electrolito rico
P2408-EXE-0000-ME-STD-0022	Pauta Mantenimiento Bomba de ácido
P2408-EXE-0000-ME-STD-0023	Pauta Mantenimiento Bomba de combustible
P2408-EXE-0000-ME-STD-0024	Pauta Mantenimiento Bomba para manejo de borras
P2408-EXE-0000-ME-STD-0025	Pauta Mantenimiento Bomba sumidero lavador de gases
P2408-EXE-0000-ME-STD-0026	Pauta Mantenimiento Bomba recirculación de agua caliente
P2408-EXE-0000-ME-STD-0027	Pauta Mantenimiento Intercambiador de calor Refino Riego ROM
P2408-EXE-0000-ME-STD-0028	Pauta Mantenimiento Intercambiador de calor Electrolito Rico
P2408-EXE-0000-ME-STD-0029	Pauta Mantenimiento Reactor Inoculación 1 -2 -3 - 4
P2408-EXE-0000-ME-STD-0030	Pauta Mantenimiento Intercambiador de calor Solución de inoculación
P2408-EXE-0000-ME-STD-0034	Pauta Mantenimiento Estanque Ácido Nítrico
P2408-EXE-0000-ME-STD-0035	Pauta Mantenimiento Estanque Decantador Orgánico
P2408-EXE-0000-ME-STD-0036	Pauta Mantenimiento Estanque Electrolito Rico
P2408-EXE-0000-ME-STD-0037	Pauta Mantenimiento Estanque Agua Caliente
P2408-EXE-0000-ME-STD-0038	Pauta Mantenimiento Estanque Diésel
P2408-EXE-0000-ME-STD-0039	Pauta Mantenimiento Estanque Agua Tibia Duchas
P2408-EXE-0000-ME-STD-0040	Pauta Mantenimiento Estanque Ácido Sulfúrico
P2408-EXE-0000-ME-STD-0041	Pauta Mantenimiento Bomba Ácido Nítrico
P2408-EXE-0000-ME-STD-0042	Pauta Mantenimiento Descarga Ácido Nítrico
P2408-EXE-0000-ME-STD-0043	Pauta Mantenimiento Dosificadora Ácido Nítrico
P2408-EXE-0000-ME-STD-0044	Pauta Mantenimiento Bomba Piscina Nitrato
P2408-EXE-0000-ME-STD-0045	Pauta Mantenimiento Bomba Solución de Inoculación
P2408-EXE-0000-ME-STD-0046	Pauta Mantenimiento Bomba de Diluyente / Extractante
P2408-EXE-0000-ME-STD-0047	Pauta Mantenimiento Bomba Lavado de Gases
P2408-EXE-0000-ME-STD-0048	Pauta Mantenimiento Bomba traspaso piscina refino Inóculo / Nitrato
P2408-EXE-0000-EL-STD-0001	Pauta Mantenimiento Tableros Eléctricos
P2408-EXE-0000-EL-STD-0002	Pauta Mantenimiento Sala Eléctrica
P2408-EXE-0000-EL-STD-0003	Pauta Mantenimiento Subestación Unitaria

Fuente: Masterplan de Mantenimiento.

Cada una de las pautas descritas anteriormente incorporan actividades y frecuencia de mantenimiento estandarizadas, tales como inspección visual, inspección de condición, lubricación, prueba de control, prueba de funcionamiento, evaluación y optimización de sistema. Estas actividades permiten estimar tiempo requerido para cada actividad de mantenimiento. Por ende, es importante considerar lo siguiente:

- Cada turno tiene una duración de 12 horas, de las cuales, se considera un porcentaje efectivo de utilización de horas del 75% con respecto al total de horas disponibles.
- HH disponible corresponde a las horas reales disponibles en planta con la dotación referida en la tabla 3.2-1, tabla 3.2-2 y tabla 3.2-3.
- HH media son el promedio de horas a utilizar según la planificación de mantenimiento.

A pesar de que se cuenta con un rango de tiempo para realizar cada actividad de mantenimiento por turno dependiendo de la dotación de personal, es fundamental considerar las condiciones presentes al intervenir un equipo, tales como:

- Accesibilidad al equipo: El acceso es fácil y sin obstáculos.
- Disponibilidad de repuestos y herramientas: Todos los repuestos y herramientas necesarias están disponibles.
- Experiencia del operador mantenedor en tareas electromecánicas: Los operadores de mantenimiento cuentan con experiencia y conocimientos adecuados para la ejecución de tareas electromecánicas.

Para cada tipo de tareas de mantenimiento, se establece un tiempo estándar de ejecución el cual varía según la naturaleza y complejidad de la actividad, como se indica a continuación:

Tabla 3.2-6: Estándar de tiempo para tareas de mantenimiento.

Tipo de tarea	Estándar de tiempo
Inspección visual	10 – 15 minutos
Inspección de condición	15 – 25 minutos
Lubricación	20 – 40 minutos
Prueba de control	20 – 30 minutos
Prueba de funcionamiento	20 – 40 minutos
Evaluación y optimización del sistema	30 – 50 minutos

Fuente: Masterplan de Mantenimiento.

Asimismo, el plan de mantenimiento considera un factor de complejidad (FC) cuyo propósito es ajustar los tiempos asociados a las actividades a ejecutar en función de las características operativas de cada equipo, como es su estructura física, peso, potencia, entre otras.

Cabe destacar que no se han contabilizados los tiempos para las siguientes actividades:

- Eventuales mantenciones correctivas.
- Desplazamientos del trabajador entre un equipo y otro.
- Tareas previas a la realización de actividades, como la desenergización de equipos, solicitud de permisos necesarios para la ejecución de actividades, entre otras.

3.3. ESTRUCTURA MASTERPLAN

A partir del plan de mantenimiento desarrollado durante el servicio de asesoramiento, se cuenta con la base sólida para representar gráficamente la estructura del Masterplan de mantenimiento.

3.3.1. TIEMPO POR EQUIPOS

Según el equipo, el tipo de tareas y frecuencia de mantenimiento se determinan tiempos medios para cada actividad, considerando tiempos mínimos (T_{mín}), tiempos máximos (T_{máx}) y el factor de complejidad (FC), como se plantea en el punto 3.2.

A partir de esta información se lleva a cabo la primera plantilla de tiempos por equipos para cada pauta de mantenimiento de la planta. En esta instancia, se enfoca en el sistema Lavador de Gases, abarcando el subsistema ventilador extractor de gases.

Tabla 3.3-1: Tiempo estimado por actividades de mantenimiento.

Equipo	Frecuencia	Tarea	T mín [min]	T máx [min]	FC Tarea	HH prom
Ventiladores extractores	Semanal	Inspección visual	10	15	1,0	0,21
Ventiladores extractores	Semanal	Inspección de condición	15	25	1,0	0,33
Ventiladores extractores	Semanal	Inspección de condición	15	25	1,0	0,33
Ventiladores extractores	Semanal	Inspección de condición	15	25	1,0	0,33
Ventiladores extractores	Mensual	Inspección de condición	15	25	1,0	0,33
Ventiladores extractores	Mensual	Inspección de condición	15	25	1,0	0,33
Ventiladores extractores	Mensual	Inspección de condición	15	25	1,0	0,33
Ventiladores extractores	Mensual	Inspección de condición	15	25	1,0	0,33
Ventiladores extractores	Trimestral	Inspección de condición	15	25	1,0	0,33
Ventiladores extractores	Trimestral	Inspección de condición	15	25	1,0	0,33
Ventiladores extractores	Trimestral	Inspección de condición	15	25	1,0	0,33
Ventiladores extractores	Trimestral	Inspección de condición	15	25	0,8	0,25
Ventiladores extractores	Trimestral	Inspección de condición	15	25	1,0	0,33
Ventiladores extractores	Trimestral	Inspección de condición	15	25	1,0	0,33
Ventiladores extractores	Trimestral	Inspección de condición	15	25	0,8	0,25
Ventiladores extractores	Trimestral	Inspección de condición	15	25	1,0	0,33

Fuente: Masterplan de Mantenimiento.

Tabla 3.3-2: Tiempo estimado por actividades de mantenimiento (Continuación)

Equipo	Frecuencia	Tarea	T mín [min]	T máx [min]	FC Tarea	HH prom
Ventiladores extractores	Trimestral	Inspección de condición	15	25	1,0	0,33
Ventiladores extractores	Trimestral	Inspección de condición	15	25	1,0	0,33
Ventiladores extractores	Semestral	Inspección de condición	15	25	1,0	0,33
Ventiladores extractores	Semestral	Evaluación y optimización de sistema	30	50	2,0	1,33
Ventiladores extractores	Semestral	Lubricación	20	40	2,0	1,00

Fuente: Masterplan de Mantenimiento

Aun cuando se ha determinado el tiempo específico de cada actividad de mantenimiento como se observa en la tabla 3.3-1 y tabla 3.3-2, este valor variara según el factor de complejidad (FC) asignado a cada el equipo.

3.3.2. TIEMPOS POR ÁREA

A continuación, se presenta una segunda plantilla cuyo objetivo es visualizar el tiempo total requerido por área para las actividades de mantenimiento. Esta información se desglosa según el tipo de equipo y frecuencia de ejecución de tarea.

Tabla 3.3-3: Tiempo resumen de ejecución de tareas por área de la planta.

Área	Equipos	HH									
		Semanal x Equipos	Semanal	Mensual x Equipo	Mensual	Trimestral x Equipo	Trimestral	Semestral x Equipo	Semestral	Total x Equipo	Total x Área
900	Sala eléctrica	10,3	11,3	1,2	2,1	12,4	13,1	12,9	16,6	610,6	684,0
	Subestación Unitaria	1,0		1,0		0,8		3,8		73,4	
920	Alimentador Nitrato	2,4	30,4	1,7	33,5	3,7	57,8	1,7	17,4	165,3	2281,4
	Bomba	17,6		14,2		29,0		6,7		1229,3	
	Ducha de emergencia	2,3		4,2		5,7		1,3		200,8	
	Estanque	3,7		4,0		6,8		2,4		275,8	
	Mezclador estático	4,3		9,5		12,7		5,3		410,2	
940	Bomba	8,8	63,3	10,5	64,9	18,9	108,5	3,2	55,2	665,7	4612,1
	Chimenea	0,4		0,7		1,0		0,7		35,0	
	Ducha de emergencia	4,7		8,3		11,3		2,7		393,3	
	Lavador de gases	1,0		1,5		2,5		2,2		86,5	
	Soplador	30,0		36,7		46,3		16,7		2218,3	
	Ventiladores extractores	1,2		1,3		3,2		2,7		96,8	
	Sala eléctrica	2,1		0,6		2,3		3,9		134,8	
	Tableros Eléctricos	15,0		5,2		23,1		23,3		981,7	

Fuente: Masterplan de Mantenimiento.

Tabla 3.3-4: Tiempo resumen de ejecución de tareas por área de la planta (Continuación).

Área	Equipos	HH									
		Semanal x Equipos	Semanal	Mensual x Equipo	Mensual	Trimestral x Equipo	Trimestral	Semestral x Equipo	Semestral	Total x Equipo	Total x Área
950	Bomba	8,9	32,4	7,5	24,9	20,8	57,5	3,3	21,4	640,3	2253,9
	Ducha de emergencia	1,2		2,1		2,8		0,7		98,3	
	Estanque	8,4		5,0		13,0		5,5		558,5	
	Reactor Inoculación	11,8		9,7		18,7		8,0		822,0	
	Sala eléctrica	2,1		0,6		2,3		3,9		134,8	
960	Bomba	20,3	42,0	17,1	37,4	41,4	76,2	8,1	24,3	1399,4	2910,8
	Ducha de emergencia	3,5		6,3		8,5		2,0		286,5	
	Intercambiador de calor	2,3		3,0		5,0		1,0		174,3	
	Estanque	1,0		1,8		2,5		0,3		80,0	
	Mezclador decantador	10,5		8,2		14,0		6,7		699,3	
	Sala eléctrica	4,5		1,0		4,8		6,2		271,3	
970	Bomba	6,9	12,1	6,2	14,5	18,6	31,1	2,2	4,3	512,3	937,5
	Intercambiador de calor	2,3		3,3		5,0		1,0		183,3	
	Estanque	2,9		5,0		7,5		1,1		241,8	
	Sala eléctrica	0,0		0,0		0,0		0,0		0,0	
980	Bomba	3,4	10,4	3,4	12,4	9,5	22,8	1,2	8,0	257,9	798,3
	Ducha de emergencia	2,3		4,2		5,7		1,3		196,7	
	Estanque	2,6		4,2		5,3		1,6		208,9	
	Sala eléctrica	2,1		0,6		2,3		3,9		134,8	

Fuente: Masterplan de Mantenimiento.

3.3.3. MASTERPLAN DE MANTENIMIENTO

El Masterplan de mantenimiento detalla todas las actividades de mantenimiento planificadas para la totalidad de los equipos dentro del proyecto. Dada la gran cantidad de tareas formuladas para cada área y equipo, se han registrado un total de 2,692 actividades, cada una con su respectivo tiempo de ejecución.

Su estructura incluye columnas que permiten la identificación completa de cada equipo, especificando el área, descripción, tipo de equipo, TAG, entre otros datos relevantes. Además, incorpora un calendario anual (52 semanas) en el que se distribuyen las actividades por semanas, facilitando la planificación y ejecución del mantenimiento.

A continuación, se presenta una estructura referencial del Masterplan, tomando un extracto específico del sistema de lavado de gases del subsistema de ventilador extractor.

Tabla 3.3-5: Masterplan de Mantenimiento Ventilador Extractor.

Equipo	TAG	Criticidad	Estado	Frecuencia	HH Tarea	Tarea
Ventiladores extractores	0940-FAN-501	Media	Operativo	Semanal	0,21	Inspección visual
Ventiladores extractores	0940-FAN-501	Media	Operativo	Semanal	0,33	Inspección de condición
Ventiladores extractores	0940-FAN-501	Media	Operativo	Semanal	0,33	Inspección de condición
Ventiladores extractores	0940-FAN-501	Media	Operativo	Semanal	0,33	Inspección de condición
Ventiladores extractores	0940-FAN-501	Media	Operativo	Mensual	0,33	Inspección de condición
Ventiladores extractores	0940-FAN-501	Media	Operativo	Mensual	0,33	Inspección de condición
Ventiladores extractores	0940-FAN-501	Media	Operativo	Mensual	0,33	Inspección de condición
Ventiladores extractores	0940-FAN-501	Media	Operativo	Mensual	0,33	Inspección de condición
Ventiladores extractores	0940-FAN-501	Media	Operativo	Trimestral	0,33	Inspección de condición
Ventiladores extractores	0940-FAN-501	Media	Operativo	Trimestral	0,33	Inspección de condición
Ventiladores extractores	0940-FAN-501	Media	Operativo	Trimestral	0,33	Inspección de condición
Ventiladores extractores	0940-FAN-501	Media	Operativo	Trimestral	0,25	Inspección de condición
Ventiladores extractores	0940-FAN-501	Media	Operativo	Trimestral	0,33	Inspección de condición
Ventiladores extractores	0940-FAN-501	Media	Operativo	Trimestral	0,33	Inspección de condición
Ventiladores extractores	0940-FAN-501	Media	Operativo	Semestral	1,33	Evaluación y optimización de sistema
Ventiladores extractores	0940-FAN-501	Media	Operativo	Semestral	0,33	Inspección de condición
Ventiladores extractores	0940-FAN-501	Media	Operativo	Semestral	1,00	Lubricación
Ventiladores extractores	0940-FAN-502	Media	Standby	Trimestral	0,25	Inspección de condición
Ventiladores extractores	0940-FAN-502	Media	Standby	Trimestral	0,33	Inspección de condición
Ventiladores extractores	0940-FAN-502	Media	Standby	Trimestral	0,33	Inspección de condición
Ventiladores extractores	0940-FAN-502	Media	Standby	Trimestral	0,33	Inspección de condición

Fuente: Masterplan de Mantenimiento.

Tabla 3.3-6: Masterplan de Mantenimiento Ventilador Extractor (Continuación).

Descripción tarea de mantenimiento	S1	S2	S3
Verificar que extractor, piping y válvulas no presenten señales de fugas o desgaste. Evitar acumulación excesiva de polvo o residuos en tomas de aire y exterior de carcasa del motor.	0,21	0,21	0,21
Inspeccionar descansos y re lubricar según estado de grasa, considerando frecuencia recomendada establecida en manual de operación y mantenimiento.	0,33	0,33	0,33
Monitorear niveles de ruido y temperatura de equipos con equipos correspondientes para evitar condiciones indeseadas de operación.	0,33	0,33	0,33
Inspeccionar que guarda de seguridad del acoplamiento y rodamientos no presenten signos de deterioro o soldadura mecánica.	0,33	0,33	0,33
Inspeccionar que las válvulas manuales y pilotadas abran y cierren con suavidad para verificar su buen estado operacional. Limpiar residuos que puedan afectar su rendimiento.	0,00	0,00	0,00
Inspeccionar conexiones eléctricas y mecánicas de actuador para asegurar firmeza y evitar presencia de signos de desgaste o corrosión.	0,00	0,00	0,00
Verificar y ajustar calibración en válvulas y relés de presión según los estándares requeridos para mantener precisión.	0,00	0,00	0,00
Monitorear vibraciones de equipo para detectar posibles desbalances o problemas en rodamientos y/o acoplamiento entre extractor y motor.	0,00	0,00	0,00
Inspeccionar componentes internos como aspas del ventilador y sistema de sellado. Limpiar o reemplazar componentes según su estado.	0,00	0,00	0,00
Comprobar la integridad y apriete de todos los elementos de fijación de motor y extractor.	0,00	0,00	0,00
Comprobar estado de componentes eléctricos de motor, incluidos cables y conexiones verificando que no existan posibles sobrecalentamientos según su estado.	0,00	0,00	0,00
Inspeccionar que acoplamiento de motor/extractor no presente daños y/o desgaste.	0,00	0,00	0,00
Inspeccionar estado de válvulas, realizando un mantenimiento preventivo y/o calibración según estado.	0,00	0,00	0,00
Limpiar sensores y conexiones para eliminar cualquier acumulación que podría afectar su funcionamiento.	0,00	0,00	0,00
Realizar prueba completa del subsistema para evaluar capacidad de extracción y funcionamiento de motor. Ajustar configuraciones si se evidencia disminución de eficiencia.	0,00	0,00	0,00
Inspeccionar equipo ventilador extractor y realizar reemplazo de componentes tales como rodamientos, juntas, sellos, según su estado.	0,00	0,00	0,00
Renovar lubricante en rodamientos de motor eléctrico para un correcto funcionamiento.	0,00	0,00	0,00
Verificar que no haya daños y obstrucciones en el extractor para realizar una prueba de funcionamiento.	0,00	0,00	0,00
Inspeccionar que las válvulas manuales y pilotadas abran y cierren con suavidad para verificar su buen estado operacional.	0,00	0,00	0,00
Verificar estado de lubricante en descansos de ventilador extractor, re lubricar según su estado y realizar giro manual del eje.	0,00	0,00	0,00
Inspeccionar correcto funcionamiento de accesorios de presión presentes en línea Stand By, calibrar si es necesario.	0,00	0,00	0,00

Fuente: Masterplan de Mantenimiento

Es de vital importancia aclarar que, la disponibilidad y la asignación del personal durante la planificación, las frecuencias estimadas para las tareas pueden generar variación. Estas frecuencias fueron establecidas dentro de rangos recomendados por el fabricante, permitiendo cierto grado de flexibilidad en su ejecución. Un ejemplo de ello son las tareas mensuales que pueden ser realizadas a partir de la semana 5. Posteriormente, se mantiene una frecuencia acorde a un intervalo de 4 semanas. Sin embargo, las actividades con frecuencia trimestrales comienzan en la semana 11, y luego continúan con una periodicidad de 12 semanas. Esta programación puede ajustarse dentro del rango estimado sin comprometer la efectividad del mantenimiento.

Tabla 3.3-7: Masterplan de Mantenimiento Ventilador Extractor (Continuación).

S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19
0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00
0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00
0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00
0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,33
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fuente: Masterplan de Mantenimiento.

Tabla 3.3-8: Masterplan de Mantenimiento Ventilador Extractor (Continuación).

S20	S21	S22	S23	S24	S25	S26	S27	S28	S29	S30	S31	S32	S33	S34	S35
0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00
0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00
0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00
0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33
0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33
0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33
0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25
0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33
0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25
0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33
0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33
0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33

Fuente: Masterplan de Mantenimiento.

Tabla 3.3-9: Masterplan de Mantenimiento Ventilador Extractor (Continuación).

S36	S37	S38	S39	S40	S41	S42	S43	S44	S45	S46	S47	S48	S49	S50	S51	S52
0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00
0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00
0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00
0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fuente: Masterplan de Mantenimiento.

3.3.4. BALANCE DE CARGA

La planificación de las actividades de mantenimiento es clave para garantizar la continuidad operativa, seguridad y eficiencia de los equipos. Un factor determinante en esta planificación es la correcta distribución de la carga de trabajo en función de la disponibilidad del personal.

El presente análisis se basa en la dotación de personal de mantenimiento como se interpreta en tabla 3.2-1, considerando las horas hombre (HH) totales con una jornada de 12 horas diarias, por 7 días y disponibles por semana, así como el porcentaje de utilización efectiva (75%) de estos recursos. A través de gráficos y datos cuantitativos, se evalúa el tiempo realmente dedicado al mantenimiento preventivo y la eficiencia en el uso de recursos.

El objetivo de este estudio es optimizar la gestión del mantenimiento mediante una adecuada distribución de las HH. Se realiza el análisis de los distintos escenarios propuestos en el punto 3.2, no obstante, solo se lleva a cabo el análisis del escenario 1 debido a la dotación definida por la empresa mandante para ejecutar las actividades en el horizonte de un año de operación, evitando sobrecargas o subutilización del personal.

Tabla 3.3-10: Disponibilidad de horas por semana.

Turno	Especialidad	Dotación	HH Total Semana	% Efectivo de Utilización	HH Disponible Semana
Día	Electromecánico	3	252	75%	189
	Instrumentista	1	84	75%	63
Noche	Electromecánico	2	168	75%	126
Total			504		378

Fuente: Masterplan de Mantenimiento.

Con las horas disponibles por semana, se obtiene una referencia de las HH destinadas a las actividades de mantenimiento del proyecto. Al considerar los tiempos totales de cada semana según el Masterplan, es posible representar gráficamente los requerimientos de HH promedio en relación con las horas totales de mantenimiento. Esta comparación permite analizar la distribución de la carga de trabajo y ser representado en la ilustración 3.3-1 e ilustración 3.3-2.

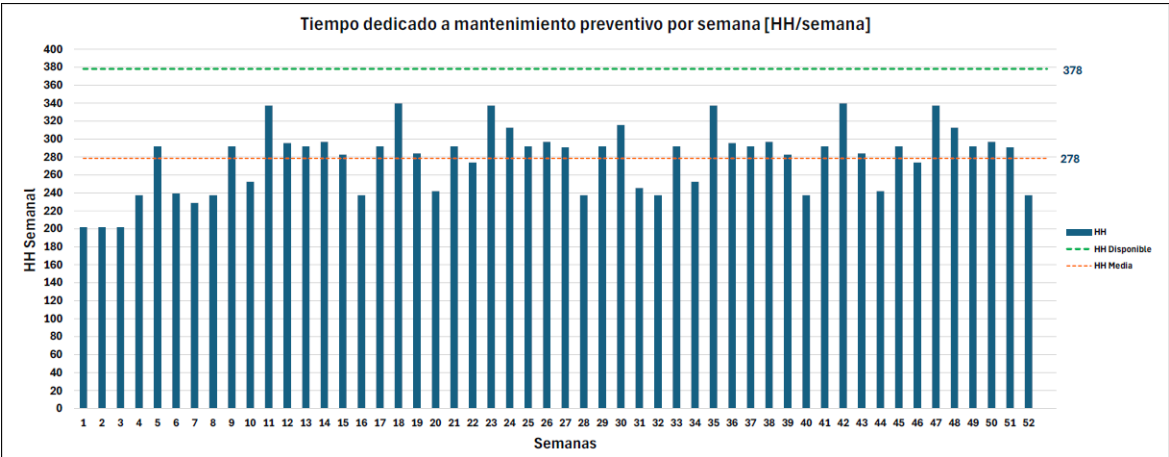


Ilustración 3.3-1: Balance de carga de horas hombre para actividades de mantenimiento por semana.
Fuente: Masterplan de Mantenimiento.

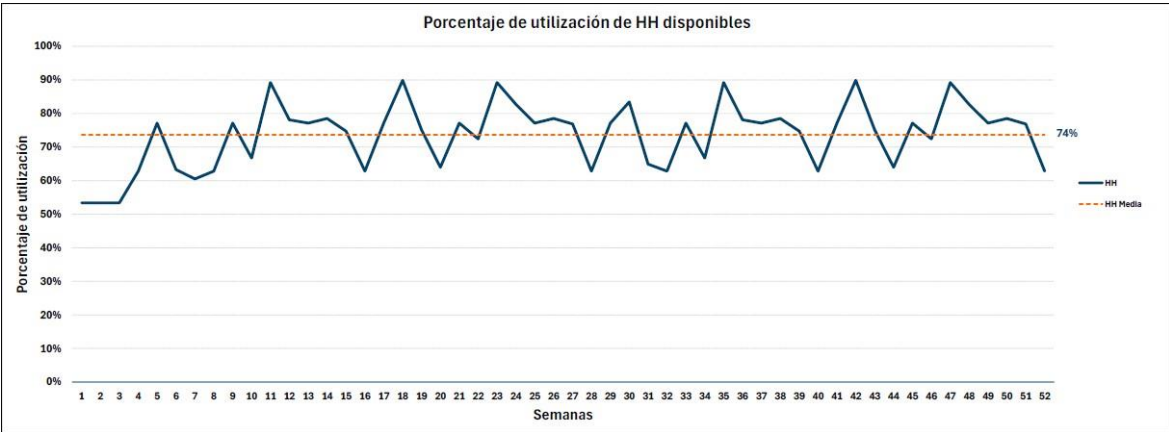


Ilustración 3.3-2: Porcentaje de horas utilizadas con respecto a las horas disponibles.
Fuente: Masterplan de Mantenimiento.

Asimismo, este escenario garantiza la dedicación necesaria para realizar mantenimiento correctivo. Este enfoque permite una planificación flexible y cubre actividades no cuantificadas en el Masterplan, optimizando los recursos disponibles en función de las necesidades específicas de cada área.

3.3.5. RESUMEN DE MASTERPLAN

A continuación, se exhibe una visión general del área de la planta a lo largo de las semanas, permitiendo visualizar la programación de las actividades de mantenimiento semanal (A), mensual (B), trimestral (C) y semestral (D). Esto facilita la verificación de la carga de trabajo y la planificación global.

La tabla 3.3-11 muestra las áreas previamente identificadas, junto con la frecuencia y el tiempo de ejecución de cada actividad. Además, se tipifica con un “1” la ejecución de cada

tarea dentro del período de 52 semanas del proyecto. Asimismo, se determinan tanto las horas totales por semana como el total de horas de mantenimiento en el periodo completo.

Tabla 3.3-11: Resumen de Masterplan de Mantenimiento.

Semanas	Área 900				Área 920				Área 940				Árae 950				Área 960				Área 970				Área 980				HH Total por semana
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	
	11,3	2,1	13,1	16,6	30,4	33,5	57,8	17,4	63,3	64,9	108,5	55,2	32,4	24,9	57,5	21,4	42,0	37,4	76,2	24,3	12,1	14,5	31,1	4,3	10,4	12,4	22,8	8,0	
1	1				1				1				1				1				1				1				202
2	1				1				1				1				1				1				1				202
3	1				1				1				1				1				1				1				202
4	1	1			1	1			1				1				1				1				1				238
5	1				1				1	1			1	1			1				1				1				292
6	1				1				1				1				1	1			1				1				239
7	1				1				1				1				1				1	1			1	1			229
8	1	1			1	1			1				1				1				1				1				238
9	1				1				1	1			1	1			1				1				1				292
10	1		1		1				1				1				1	1			1				1				252
11	1				1				1		1		1				1				1	1			1	1			337
12	1	1			1	1	1		1				1				1				1				1				295
13	1				1				1	1			1	1			1				1				1				292
14	1				1				1				1		1		1	1			1				1				297
15	1				1				1				1				1				1	1	1		1	1	1		283
16	1	1			1	1			1				1				1				1				1				238
17	1				1				1	1			1	1			1				1				1				292
18	1				1				1				1				1	1	1	1	1				1				340
19	1				1				1			1	1				1				1	1			1	1			284
20	1	1			1	1			1				1				1				1		1		1				242
21	1				1				1	1			1	1			1				1				1				292
22	1		1		1				1				1			1	1	1			1				1				274
23	1				1				1		1		1				1				1	1			1	1			337
24	1	1			1	1	1	1	1				1				1				1				1				313
25	1				1				1	1			1	1			1				1				1				292
26	1				1				1				1		1		1	1			1				1				297
27	1				1				1				1				1				1	1	1		1	1	1	1	291
28	1	1			1	1			1				1				1				1				1				238
29	1				1				1	1			1	1			1				1				1				292
30	1				1				1				1				1	1	1		1				1				315
31	1			1	1				1				1				1				1	1			1	1			245
32	1	1			1	1			1				1				1				1				1				238
33	1				1				1	1			1	1			1				1				1				292
34	1		1		1				1				1				1	1			1				1				252
35	1				1				1		1		1				1				1	1			1	1			337
36	1	1			1	1	1		1				1				1				1				1				295
37	1				1				1	1			1	1			1				1				1				292
38	1				1				1				1		1		1	1			1				1				297
39	1				1				1				1				1				1	1	1		1	1	1		283
40	1	1			1	1			1				1				1				1				1				238
41	1				1				1	1			1	1			1				1				1				292
42	1				1				1				1				1	1	1	1	1				1				340
43	1				1				1			1	1				1				1	1			1	1			284
44	1	1			1	1			1				1				1				1		1		1				242
45	1				1				1	1			1	1			1				1				1				292
46	1		1		1				1				1			1	1	1			1				1				274
47	1				1				1		1		1				1				1	1			1	1			337
48	1	1			1	1	1	1	1				1				1				1				1				313
49	1				1				1	1			1	1			1				1				1				292
50	1				1				1				1		1		1	1			1				1				297
51	1				1				1				1				1				1	1	1		1	1	1	1	291
52	1	1			1	1			1				1				1				1				1				238
																													14478

Fuente: Masterplan de Mantenimiento.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El trabajo desarrollado a lo largo de este proyecto permitió cumplir con el objetivo principal de elaborar pauta y plan de mantenimiento para subsistema de Lavador de Gases, utilizado en el proceso de biolixiviación en pilas. Mediante la aplicación de metodología basada en el análisis técnico y la gestión del mantenimiento, se establecieron lineamientos concretos mantener los equipos operativos.

Se realizó análisis de criticidad bajo un enfoque semi-cuantitativo, que permitió identificar áreas críticas, media criticidad y de baja criticidad del proceso de biolixiviación. Esta evaluación resultó fundamental para priorizar el sistema Lavador de Gases desde la perspectiva del riesgo operativo y la continuidad del proceso.

A partir de los resultados obtenidos, se elaboró una pauta de mantenimiento que identificó los equipos y componentes del subsistema del Lavador de Gases, considerando variables técnicas tales como materialidad, capacidad operacional, parámetros de funcionamiento y frecuencia de mantenimiento. Este proceso sirvió como base técnica para el desarrollo del plan de mantenimiento, orientado a garantizar la operatividad del sistema y maximizar su rendimiento.

Finalmente, se llevó a cabo la planificación y programación de actividades de mantenimiento, identificando frecuencias y tipos de intervención recomendados para cada componente, conforme buenas prácticas de mantenimiento y la información técnica recopilada. En conjunto, estas acciones permiten establecer una gestión del mantenimiento eficiente, dirigida a reducir la ocurrencia de fallas, aumentar la disponibilidad de los equipos y contribuir a la sustentabilidad del proceso de biolixiviación en su conjunto.

Para garantizar la efectividad y eficiencia del programa de mantenimiento, se proponen las siguientes recomendaciones:

- Llevar un registro detallado de actividades: Mantener un registro exhaustivo de las actividades de mantenimiento realizadas, incluyendo el tiempo de ejecución y los recursos utilizados, para mejorar la precisión de futuras estimaciones y planificaciones.
- Capacitar de manera continua al personal: Proveer formación continua y actualizaciones al personal de mantenimiento para asegurar que están al día con las mejores prácticas y técnicas de mantenimiento, lo cual puede reducir el tiempo de ejecución y mejorar la eficacia de las tareas.
- Revisar y actualizar periódicamente el plan de mantenimiento: Revisar y actualizar el programa de mantenimiento de forma periódica para ajustar los tiempos de ejecución y actividades según la experiencia adquirida y los datos recopilados.

- Llevar un registro de actividades pendientes: Crear un documento específico para registrar las actividades de mantenimiento que no se hayan realizado en el periodo planificado. Este documento deberá ser revisado de forma periódica e incluir la siguiente información:
 - Descripción de la tarea.
 - Criticidad en la operación (permitiendo priorizar actividades).
 - Fecha programada originalmente.
 - Motivo del aplazamiento.
 - Nueva fecha tentativa.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Organización Internacional de Normalización. (2018). *Gestión del riesgo: Directrices* (ISO 31000:2018). International Organization for Standardization. <https://www.iso.org/standard/65694.html>
- Standards Norway. (2017). *Risk based maintenance and consequence classification* (NORSOK Z-008:2017). Standards Norway. <https://www.standard.no/en/news/norsok-z-008-has-been-revised/>
- Asociación Española de Normalización. (2018). *Proceso de mantenimiento e indicadores asociados* (UNE-EN 17007:2018). <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0060183>
- Society of Automotive Engineers. (1999). *Evaluation criteria for reliability-centered maintenance (RCM) processes* (SAE JA1011:1999). https://www.sae.org/standards/content/ja1011_199908/
- Society of Automotive Engineers. (2011). *A guide to the reliability-centered maintenance (RCM) standard* (SAE JA1012:2011). https://www.sae.org/standards/content/ja1012_201108/
- Parra Márquez, C. A., & Crespo Márquez, A. (2015). *Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestión de activos: Desarrollo y aplicación práctica de un Modelo de Gestión del Mantenimiento (MGM)* (2ª ed.).
- Statista. (2024). *Participación del PIB de la industria minera en Chile 2011–2023*. <https://es.statista.com/estadisticas/1284650/participacion-del-pib-de-la-industria-minera-en-chile/>