

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

**PAUTA DE MANTENIMIENTO A SISTEMA DE SUMINISTRO DE
ÁCIDO NÍTRICO PARA PILAS DE LIXIVIACIÓN DE COBRE**

Trabajo de Titulación para optar a Título
de Ingeniero en Mantenimiento
Industrial.

Alumno:

Camilo Andrés Ignacio Johnson Núñez

Profesor guía:

Mg. Ing. Pablo Duque Ramírez

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 SISTEMA DE SUMINISTRO DE ÁCIDO NÍTRICO PARA PILAS DE LIXIVIACIÓN DE COBRE

Nombre del candidato(a): Camilo Andrés Ignacio Johnson Núñez

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: 06.08.25; Firma: _____

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 06.08.25; Firma: _____

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

RESUMEN

KEYWORDS: NitroBio, Masterplan, Calcopirita, Pauta de Mantenimiento, Planta piloto, Biolixiviación.

El presente trabajo de título consiste en el proceso efectuado en la realización de pautas de mantenimiento para equipos presentes en una planta piloto perteneciente a un proyecto minero que busca realizar una prueba a escala industrial sobre la extracción de cobre a partir del mineral de Calcopirita empleando una tecnología denominada NitroBio, la cual consiste en la aportación de agentes biológicos que brindan el nombre de Biolixiviación al proceso.

Este procedimiento se ha llevado a cabo según la solicitud de la empresa minera a un grupo externo centrado en asesorías de ingeniería de proyectos, a quienes se les ha asignado la tarea de realizar el Masterplan de mantenimiento para la planta en su totalidad, lo cual incurre en la necesidad de ejecutar un proceso completo desde la jerarquización de los activos, definición de criticidades, elaboración de pautas de mantenimiento con grupos de actividades definidas y frecuencias recomendadas, para posteriormente elaborar el libro guía que será aplicado por mantenimiento durante el período de 1 año que involucra la prueba piloto.

En síntesis, se expone el procedimiento efectuado en un plazo de aproximadamente 6 meses para ejecutar cada una de las pautas de mantenimiento presupuestadas, las cuales han de servir como referencia para cuadrar tiempos y frecuencias en las que se intervendrán los equipos, considerando actividades de mantenimiento netamente preventivas para garantizar la correcta operatividad de la planta en el plazo establecido.

SIGLAS Y SIMBOLOGÍAS

Siglas

HH	:	Horas Hombre
ROM	:	Run of Mine
P&ID	:	Piping and Instrumentation Diagram
HSE	:	Higiene, Seguridad y Ambiente
TIT	:	Transmisor Indicador de Temperatura
TE	:	Indicador de Temperatura
PP	:	Bomba
TK	:	Estanque
AG	:	Agitador
HX	:	Intercambiador de Calor
MZ	:	Mezclador Estático
MS	:	Mezclador Decantador
PO	:	Piscina
HE	:	Calefactor
SX	:	Piscina Ácido
MGM	:	Modelo de Gestión del Mantenimiento
PM	:	Agitador Bombeador
FC	:	Factor de Complejidad
SM	:	Agitador Secundario
AS	:	Post Decantador

Símbolos

%	:	Porcentaje
°C	:	Grados Celsius
Plg	:	Pulgada
mm	:	Milímetro

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
PROBLEMÁTICA.....	2
OBJETIVO GENERAL.....	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES, CONTEXTO OPERACIONAL Y JERARQUIZACIÓN DE ACTIVOS.....	4
1.1 MARCO REFERENCIAL.....	5
1.2 CONTEXTO Y ANTECEDENTES GENERALES.....	5
1.2.1 CARACTERÍSTICAS DE MATERIA PRIMA.....	6
1.2.2 CARACTERÍSTICAS DE AGENTES QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS.....	8
1.3 JERARQUIZACIÓN DE ACTIVOS Y ANÁLISIS DE CRITICIDAD.....	10
1.3.1 DESARROLLO TALLER DE JERARQUIZACIÓN.....	11
1.4 DIAGRAMA DE FLUJO DE SISTEMA CRÍTICO.....	18
CAPÍTULO 2: IDENTIFICACIÓN DE ACTIVOS Y METODOLOGÍA DE GENERACIÓN DE PAUTAS DE MANTENIMIENTO.....	21
2.1 DESCRIPCIÓN DE ACTIVOS Y PAUTAS DE MANTENIMIENTO.....	22
2.2 DESCRIPCIÓN DE SISTEMA CRÍTICO.....	22
2.2.1 DIAGRAMA Y DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS.....	23
2.3 ELABORACIÓN DE PAUTA DE MANTENIMIENTO.....	25
2.3.1 ASPECTOS GENERALES.....	25
2.3.2 OBJETIVOS Y ALCANCE.....	26
2.3.3 DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS.....	27
2.3.4 DOCUMENTOS RELACIONADOS, DOTACIÓN DE PERSONAL Y REPUESTOS O INSUMOS.....	29
2.3.5 PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	29
2.4 PAUTA DE MANTENIMIENTO.....	32
CAPÍTULO 3: PROGRAMACIÓN Y ELABORACIÓN DE MASTERPLAN DE MANTENIMIENTO.....	46
3.1 MASTERPLAN DE MANTENIMIENTO.....	47
3.2 CONSIDERACIONES GENERALES.....	47
3.3 ESTRUCTURACIÓN DE MASTERPLAN.....	51
3.3.1 TIEMPOS POR EQUIPO.....	51
3.3.2 TIEMPOS POR ÁREA.....	52
3.3.3 MASTERPLAN.....	53
3.4 BALANCE DE CARGA.....	54
3.5 RESUMEN DE MASTERPLAN.....	55
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	57
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.2-1: Dimensiones granulométricas tipo según etapa de chancado	6
Tabla 1.3-1: Evaluación de probabilidad de eventos de falla	11
Tabla 1.3-2: Evaluación de severidad de eventos de falla	12
Tabla 1.3-3: Matriz cualitativa de riesgo bajo criterios preestablecidos	13
Tabla 1.3-4: Ponderaciones según criterios de evaluación	14
Tabla 1.3-5: Identificación de principales áreas de planta piloto	14
Tabla 1.3-6: Resultados de criticidad evaluados en primera instancia	15
Tabla 1.3-7: Aumento de ponderaciones para Impacto HSE en contraste con expuesto en tabla 1.3-4.....	16
Tabla 1.3-8: Resultados de criticidad según taller definitivo	17
Tabla 1.4-1: Identificación de equipos sistema de Ácido Nítrico.....	19
Tabla 1.4-2: Identificación de tipo de equipos en sistema de Ácido Nítrico	20
Tabla 2.3-1: Tabla de identificación de equipos	27
Tabla 2.3-2: Descripción de activo, parámetros operacionales y aspectos generales.....	28
Tabla 2.3-3: Dotación de personal según turnos.....	29
Tabla 2.3-4: Actividades de mantenimiento según tipo y frecuencia	30
Tabla 2.3-5: Actividades de mantenimiento según tipo y frecuencia (continuación).....	31
Tabla 3.2-1: Personal en Escenario 1.....	47
Tabla 3.2-2: Personal en Escenario 2.....	48
Tabla 3.2-3: Personal en Escenario 3.....	48
Tabla 3.2-4: Documentos de referencia para Masterplan	48
Tabla 3.2-5: Documentos de referencia para Masterplan (continuación).....	49
Tabla 3.2-6: Estándar de tiempos para tareas de mantenimiento	50
Tabla 3.3-1: Tiempos estimados por actividad de mantenimiento	51
Tabla 3.3-2: Tiempo resumen de ejecución de tareas por área de la planta.....	52
Tabla 3.4-1: Disponibilidad por semana.....	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.3-1: Modelo de Gestión del Mantenimiento	10
Figura 1.4-1: Diagrama de flujo de sistema de Ácido Nítrico.....	18
Figura 2.2-1: Diagrama equipo Intercambiador de calor con accesorios e instrumentación	24
Figura 2.3-1: Recuadro de información de documento	26
Figura 2.3-2: Imagen referencial de equipo Intercambiador de Calor	28
Figura 2.4-1: Portada de Pautas.....	32
Figura 2.4-2: Tabla de contenido de Pautas.....	33
Figura 2.4-3: Información introductoria del documento	34

Figura 2.4-4: Desarrollo de Pauta, identificación de equipos y referencias	35
Figura 2.4-5: Descripción de equipos e información técnica	36
Figura 2.4-6: Especificación de documentos empleados y dotación presupuestada	37
Figura 2.4-7: Definición de actividades de mantenimiento para abordar equipo.....	38
Figura 2.4-8: Continuación de actividades de mantenimiento y definición de repuestos e insumos.....	39
Figura 2.4-9: Checklist para utilización en campo	40
Figura 2.4-10: Checklist para utilización en campo (continuación).....	41
Figura 2.4-11: Checklist para utilización en campo (continuación).....	42
Figura 2.4-12: Checklist para utilización en campo (continuación) y anexos.....	43
Figura 2.4-13: Anexos (continuación).....	44
Figura 2.4-14: Anexos (continuación y final).....	45
Figura 3.3-1: Extracto de Masterplan filtrado en Intercambiador de Calor Riego ROM.....	53
Figura 3.3-2: Extracto de Masterplan filtrado en Intercambiador de Calor Riego ROM (continuación).....	53
Figura 3.4-1: Gráfica Balance de Carga de horas hombre para actividades de mantenimiento por semana.....	54
Figura 3.4-2: Porcentaje de horas utilizadas con respecto a horas disponibles	55
Figura 3.5-1: Tabla de resumen de Plan de Mantenimiento	55

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.3-1: Modelo para determinación de Criticidad de equipos.....	11
Ecuación 1.3-2: Modelo para determinación de Criticidad y Jerarquización.....	14

INTRODUCCIÓN

Chile ha sido durante décadas un referente en la industria minera a nivel mundial gracias a su capacidad para adaptarse e incorporar nuevas tecnologías y metodologías en la extracción y procesamiento de minerales. Esta posición de liderazgo se debe, en gran medida, a su vasta y variada geografía, que alberga una riqueza mineral única, esencial para la producción de múltiples productos en todo el mundo. La minería del cobre ha sido especialmente significativa para el desarrollo económico del país, consolidándose desde el siglo XX como uno de los pilares fundamentales de la economía chilena, con yacimientos a lo largo de la cordillera de Los Andes que hoy en día son explotados por las principales empresas mineras globales.

El presente Trabajo de Título centra su atención en una empresa minera ubicada en el desierto de Atacama, que opera en un yacimiento del tipo pórfido, favoreciendo la extracción de cobre y molibdeno gracias a las condiciones geológicas de la zona. Actualmente, esta empresa se encuentra llevando adelante un proyecto innovador acerca del proceso de lixiviación de calcopirita, que ha dado pie a la construcción de una planta piloto destinada a verificar la viabilidad del proceso a escala industrial. Un componente crucial de esta planta es el área de recepción y manejo del Ácido Nítrico, producto utilizado para efectuar el riego de las pilas de lixiviación de mineral ROM y mineral Chancado.

Para asegurar el éxito del proyecto, se ha planificado un período de prueba de un año durante el cual se recogerán datos y se analizarán múltiples variables del proceso. Debido a la complejidad del sistema y la importancia de mantener la operación en condiciones óptimas para no ver discontinuidades operativas que afecten la efectividad de la prueba, se ha solicitado el diseño de un máster plan de mantenimiento que cubra todos los sistemas y subsistemas, requiriendo en esta ocasión, una externalización en el servicio de ingeniería destinado a la elaboración de aquella documentación, entre ellas, pautas de mantenimiento para cada activo, con el objetivo de facilitar el control y mantenimiento de cada equipo presente en los diversos sistemas y subsistemas de la planta.

En el presente documento se establece la metodología abordada para elaboración de pautas de mantenimiento de diversos activos asociados a la planta piloto, profundizando específicamente en sistema crítico dentro de área de suministro, tratado y distribución de Ácido Nítrico. Si bien, la extensión completa del servicio de asesoría de ingeniería solicitado contempla la generación de documentos de mantenimiento para gran parte de los activos presentes en dicha planta piloto, se aborda en esta instancia el conjunto de equipos de mayor criticidad respecto a la línea mencionada previamente, lo cual implica una atención especial en equipos clave como bombas centrífugas, intercambiadores de calor, estanques de almacenamiento y mezcladores, así como instrumentación y tuberías asociadas.

La elaboración de estas pautas se ha basado en una identificación precisa de los activos mediante el empleo de diagrama P&ID, permitiendo realizar una visión amplia sobre el contexto operativo acerca de cada uno de ellos y los diferentes procesos que se generan en

paralelo. Las pautas de mantenimiento desarrolladas incluyen una descripción técnica detallada de los equipos, la consulta de documentación de referencia, planificación del personal necesario, definición de frecuencias de mantenimiento recomendadas por los proveedores, un listado de insumos y repuestos requeridos, y la creación de Checklist específicos para cada equipo, los cuales contienen apartados para generar observaciones clave que contribuyen a un registro de variaciones referentes a condiciones operativas evaluadas, facilitando así la correcta implementación de las tareas de mantenimiento correspondientes para toda eventualidad presente en cada equipo. Por otro lado, Plan de Mantenimiento (o Master plan) por emplear a nivel planta, se centra en definir con precisión cada aspecto referente a cuándo se realizarán las actividades de mantenimiento estipuladas, las cuales han sido diferenciadas en categorías específicas según el tipo de actividad, motivo que propicia una planificación de actividades de la misma naturaleza para una determinada fecha en particular con la finalidad de poseer un mayor control, registro y regularización en las tareas de mantenimiento por ejecutar.

PROBLEMÁTICA

La empresa mandante ha solicitado la implementación de una planta piloto para realizar una prueba de biolixiviación, lo que conlleva la elaboración de pautas y planes de mantenimiento para toda la planta. Para llevar a cabo esta tarea, la empresa contratista involucrada será responsable de liderar el proceso, centrando sus esfuerzos en la identificación y clasificación de los activos mediante la lectura del diagrama P&ID, permitiendo segmentar la planta en sectores específicos facilitando una mejor gestión y control de los procesos asociados a la prueba demostrativa.

El desarrollo de estos planes requiere un equipo que se encargue de recopilar y gestionar la información técnica, coordinarse con la empresa mandante y elaborar la documentación que se ha solicitado. Dentro de este equipo, un grupo se enfocará en la redacción de los documentos, asegurando que cumplan con los estándares requeridos para su implementación a nivel de planta procurando que sean entregados dentro del plazo acordado. Además, este proceso tiene como objetivo resultante conseguir un Masterplan que garantice la correcta implementación de la prueba, minimizando riesgos operacionales y optimizando los recursos. La colaboración constante entre ambas partes será clave para lograr un resultado bajo los estándares de la empresa minera, permitiendo evaluar el desempeño de la planta en condiciones controladas durante el período de prueba establecido y facilitando la toma de decisiones futuras en función de los resultados que se puedan llegar a obtener.

OBJETIVO GENERAL

Proponer Pautas y Plan de Mantenimiento de acuerdo con solicitudes de empresa mandante para aplicación en actividades de mantenimiento correspondientes a planta piloto de biolixiviación de Cobre.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Identificar y jerarquizar equipos presentes en línea de Ácido Nítrico mediante diagramas y técnicas de evaluación de criticidades para definir activo crítico en el sistema.

Generar pautas de mantenimiento mediante identificación técnica de equipos e instrumentación asociada para establecer tipos de actividades preventivas y frecuencias correspondientes.

Planificar actividades de mantenimiento según frecuencias y tipos de actividades establecidas en pautas de cada equipo para empleo a nivel planta.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES, CONTEXTO OPERACIONAL Y JERARQUIZACIÓN DE ACTIVOS

1.1 MARCO REFERENCIAL

En el presente capítulo se establecen antecedentes generales sobre el proyecto, estableciendo una contextualización sobre qué, por qué y cómo se llevará a cabo el proceso de elaboración de pautas, abarcando desde aspectos propios de la metodología experimental de biolixiviación que origina la prueba, requerimientos a nivel de planta para su ejecución, e identificación de los activos involucrados por medio de la interpretación de diagrama P&ID definiendo así la criticidad de equipos y su respectivo contexto operacional.

1.2 CONTEXTO Y ANTECEDENTES GENERALES

La temática principal que involucra al presente documento se relaciona con la industria minera de Chile la cual, producto de sus variados recursos de esta índole, se ha mantenido durante el paso de los años a la vanguardia en términos de tecnología de sus instalaciones y metodologías de extracción, procesado y transporte. Dada la amplia gama de recursos posibles por extraer, se poseen industrias que modernizan cada vez más sus métodos de extracción, procesado y exportación de la materia prima de interés, incursionando cada vez más en la implementación de mejoras continuas que se traduzcan en mayores utilidades, mayor y mejor gestión del mantenimiento y un control preciso en tiempo real de la ejecución de cada segmento del proceso productivo que se vea involucrado.

En el caso de la minería del cobre en Chile, ésta es una industria que en los últimos años ha experimentado una transición constante hacia procesos de extracción más eficientes y sostenibles. Uno de aquellos procesos empleados para obtener el producto final es la lixiviación, proceso hidrometalúrgico que es ampliamente utilizado en la minería para extraer metales valiosos desde minerales de baja ley. En estricto rigor, este método consiste en aplicar soluciones químicas específicas sobre dicha materia prima triturada dispuesta en pilas de lixiviación para disolver el metal deseado, facilitando así su recuperación y posterior tratado. En el caso del cobre, los minerales más comunes que se someten a lixiviación son la Calcopirita, mineral que precisamente es materia de estudio en la prueba que involucra a planta piloto en cuestión, además de los minerales Bornita y Malaquita. Para realizar el lixiviado de productos dispuestos en respectivas pilas se pueden emplear diversas soluciones que suelen variar según aquel mineral involucrado y pueden incluir ácido sulfúrico, para óxidos de cobre y ácido nítrico para ciertos minerales sulfurados. En términos de eficiencia, este proceso permite extraer en promedio entre el 60% y el 80% del cobre contenido en el mineral bruto, considerando también que aquel porcentaje puede variar según la calidad del mineral, la técnica empleada y las condiciones del proceso.

La Calcopirita es una de las principales menas de cobre y, según su calidad, puede estar compuesta en dos tercios por hierro y cobre. En este proyecto piloto, se busca extraer cobre de esta materia prima mediante un proceso de biolixiviación, sin embargo, un factor clave por considerar es que la lixiviación convencional consiste en un método que requiere de una granulometría específica, la cual se obtiene a través de un chancado primario, secundario y/o terciario (las dimensiones promedio se detallan en la tabla 1.2-1), aspectos fundamentales para asegurar una adecuada permeabilidad de las partículas y, junto con la solución química utilizada, maximizar la extracción del cobre presente en el mineral.

El objetivo del proyecto es evaluar, en un período de un año, la efectividad de la biolixiviación utilizando mineral ROM (Run of Mine), es decir, material sin chancado previo. Este enfoque presenta el desafío de una menor permeabilidad debido al mayor tamaño de las partículas. Para abordar este problema, se implementará Nitrobio, una tecnología basada en el empleo de agentes biológicos para mejorar la disolución del mineral en pilas de lixiviación. De este modo, se busca optimizar el proceso, superando las limitaciones del mineral sin chancado y mejorando la recaptación de cobre.

Tabla 1.2-1: Dimensiones granulométricas tipo según etapa de chancado

GRANULOMETRÍA TÍPICA SEGÚN ETAPA DE CHANCADO		
Chancado Primario	Chancado Secundario	Chancado Terciario
Se reduce tamaño de mineral a partículas de entre 6 y 12 [plg] / 150 a 300 [mm]	Se reduce tamaño de mineral a partículas de entre 1 y 3 [plg] / 25 a 75 [mm]	Se reduce tamaño de mineral a partículas de entre 0,5 y 2 [plg] / 12 a 50 [mm]

Fuente: Elaboración propia

1.2.1 CARACTERÍSTICAS DE MATERIA PRIMA

Una de las principales características que contempla el proyecto es la utilización de Mineral ROM de Calcopirita para la obtención de subproductos asociados. Este término (Run of Mine, por sus siglas en inglés) se refiere al mineral que ha sido extraído directamente de la mina y aún no ha pasado por algún proceso de chancado o conminución, lo cual significa que este material mantiene la granulometría natural tal como fue extraído y, por lo tanto, tiene una variabilidad considerable en el tamaño de las partículas, desde fragmentos de gran envergadura (incluso metros de diámetro) hasta partículas más pequeñas. Esta característica se relaciona directamente con la capacidad de captación de metal de cobre debido a complejidad en la penetración de agentes químicos empleados para su disolución.

En lo que respecta a la Calcopirita (CuFeS_2), se está frente a un mineral que representa aproximadamente el 80% del cobre disponible en la corteza terrestre y la fase principal en muchos concentrados de Cobre. Dada sus características, se convierte en el mineral ideal para

la receptación de este metal por sobre otros minerales como pueden ser la Cuprita, Covellina o Covelita y Tetraedrita. Según esto, se vuelve el mineral ideal para efectuar la prueba.

En planta piloto montada se disponen pilas de biolixiviación para aquel Mineral de Calcopirita en calidad de ROM y en paralelo, pilas para Mineral Chancado las cuales sí poseen una granulometría específica otorgada por un proceso de chancado previo. El motivo principal por el cual se contemplan ambos formatos del mineral de Calcopirita en pilas es realizar un balance final sobre las cantidades de metal de cobre extraído en el año completo de prueba, prestando atención también a características tales como cantidad de recursos necesarios para lograr el lixiviado y capacidad de control de condiciones ideales para el proceso. Estos parámetros serán un claro indicador de la efectividad del proceso y fundamentarán la posible implementación de dicha metodología más allá de una planta piloto.

Cuantificar la efectividad a gran escala de este proceso considerando las limitantes que naturalmente se presentarán al no poseer un mineral con granulometrías específicas versus técnicas tradicionales es la principal meta en vista a una eventual transición de la minería actual a técnicas biológicas que traerían consigo una obsolescencia de un segmento acotado de procesos llevados a cabo en la minería actual y a su vez, la implementación de procesos con grandes facultades en aspectos de su sostenibilidad. Las consideraciones principales que se presentan según esta metodología experimental son las siguientes:

- Permeabilidad: Un aspecto de suma relevancia en un proceso de lixiviación es la susceptibilidad ante agentes disolventes, como en el presente caso, Ácido Nítrico. Los procesos de chancado al reducir el tamaño de las partículas que se disponen en pilas facilita la penetración de agentes químicos empleados y, en este caso, la barrera principal que debe sortear la prueba es contrarrestar los efectos de una baja permeabilidad producto de la envergadura del material. Mediante la implementación del conjunto de agentes biológicos y HNO_3 , actúan como un agente oxidante fuerte acelerando la disolución de minerales sulfurados presentes en la Calcopirita.
- Liberación de minerales: Según las consideraciones del punto anterior, la liberación de los minerales presentes en la Calcopirita dependen en gran medida de aquellas condiciones específicas. Al realizar el estudio con mineral tipo ROM y los agentes mencionados, se busca analizar el nivel de liberación de minerales omitiendo etapas de chancado convencionales procurando extraer la mayor cantidad de mineral de Cobre posible.
- Balance entre costo y beneficio: Asimismo, todos los aspectos mencionados anteriormente toman relevancia en este punto, pues, en un lixiviado convencional a medida que se avanza en las etapas de chancado, el costo energético y de mantenimiento de los equipos propios para cada sistema y subsistema en etapa de molienda aumenta. Se busca cuantificar el balance entre costes y beneficios al poseer material ROM, pero considerando esta vez el coste asociado a la implementación de nuevos equipos y sistemas propios de la metodología puesta a prueba.

1.2.2 CARACTERÍSTICAS DE AGENTES QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS

Considerando los aspectos abordados en 1.2.1 sobre las características de la materia prima, el correcto tratado de ésta se ve influenciado en gran medida por los agentes químicos y biológicos que deben de suministrarse ya en pilas de lixiviación. A este conjunto de técnicas se le ha denominado NitroBio, una tecnología que en minería del Cobre ha tomado fuerza en los últimos años al permitir optimizar el proceso de lixiviación mediante el uso de dichos agentes químicos y biológicos. El propósito principal del uso de estos elementos se basa en garantizar la eficiencia de disolución del cobre en pilas de lixiviación y debido a la aplicación de estos agentes biológicos, se clasifica el proceso en la categoría de Biolixiviación.

En cuanto a los agentes químicos propios empleados, estos desempeñan un papel crucial al complementar la acción de los microorganismos (bacterias y arqueas) para facilitar y acelerar la disolución de minerales sulfurados. Uno de los agentes químicos principales en NitroBio es el Ácido Nítrico (HNO_3), el cual cuenta con mejores prestaciones que no es capaz de ofrecer el Ácido Sulfúrico ya que encuentra sus mayores facultades cuando es aplicado a minerales oxidados como Malaquita y Calcocita.

El empleo de Ácido Nítrico permite la oxidación rápida y efectiva de los compuestos de Azufre y Hierro en minerales sulfurados, generando compuestos intermedios que facilitan la acción de los microorganismos y aceleran la extracción de Cobre. Nitrobio implementa agentes biológicos, es decir, microorganismos especializados que contribuyen a la lixiviación de minerales, en este caso, del tipo sulfurados, facilitando así la disolución del mineral de cobre producto de la oxidación de Azufre y otros compuestos presentes en la Calcopirita. Los microorganismos comunes que se aplican en este segmento de la minería son:

- Acidithiobacillus Ferrooxidans: Se trata de una bacteria de las más conocidas en los procesos de biolixiviación gracias a su gran capacidad para oxidar tanto Azufre como Hierro, ambos presentes en gran medida en la Calcopirita (mineral sulfurado). Recae en la familia de bacterias Mesófilas (aquellas que prosperan en temperaturas intermedias, en este caso, entre 15°C y 35°C). Bajo condiciones ideales es una bacteria que puede vivir en ambientes ácidos y puede soportar concentraciones relativamente altas de metales. Una de las principales características del por qué esta bacteria es ampliamente utilizada en este tipo de procesos se debe a que, tal como se menciona previamente, posee la particularidad de oxidar los iones de Hierro (específicamente en óxido ferroso de Hierro [Fe^{2+}] y óxido férrico de Hierro [Fe^{3+}]) y los compuestos de Azufre, facilitando la descomposición de minerales sulfurados de cobre y propiciando así que aquel proceso de oxidación libere iones de Cobre que son captados por la solución lixivante empleada.
- Leptospirillum ferrooxidans: Esta bacteria, al igual que A. F., también posee la particularidad de generar óxidos de Hierro Fe^{2+} y Fe^{3+} , sin embargo, lo logra con una mayor eficiencia debido a que su temperatura ideal de proliferación es entre 30°C y

40°C. El empleo de esta bacteria permite mantener un suministro constante de Hierro férrico que actúa como un oxidante secundario en la lixiviación.

- Sulfobacillus thermosulfidooxidans: En último lugar, al igual que en casos anteriores, esta bacteria propicia eficazmente la oxidación de Azufre, Hierro y compuestos sulfurados. Su gran particularidad es que este agente biológico no recae en el segmento de bacterias Mesófilas, pues se le conoce como una bacteria moderadamente Termofílica debido a su proliferación en ambientes de mayor temperatura, precisamente en el rango de entre 40°C hasta un máximo de 65°C, lo cual es una variable considerable ya que un proceso de lixiviación con temperaturas por sobre los 40°C garantiza una mayor y más eficiente oxidación de ciertos minerales, propiciando así, una mayor eficiencia del lixiviado.

Según se establece en puntos anteriores, la naturaleza de este proceso involucra variables importantes como la temperatura del ambiente y de los distintos agentes que actúan en el proceso de lixiviado. Esta temperatura debe ser monitoreada y mantenida en un aproximado de entre 20°C y 30°C para favorecer la acción de los microorganismos.

Es en este punto donde se relacionan todos los aspectos tratados hasta ahora, considerando las características de la metodología aplicada en planta piloto en conjunto con la diversidad de equipos e instrumentación presentes en el proyecto. Como primer acercamiento a los activos presentes en sistema de alimentación, tratado y aplicación de Ácido Nítrico, se cuenta con la presencia de Intercambiadores de Calor, Instrumentación (termocuplas, termostatos), mezcladores estáticos, agitadores y estanques de almacenamiento y tratado de Ácido Nítrico con presencia de aislación térmica, entre otros.

La ejecución de esta prueba a gran escala es de suma relevancia para la empresa minera que impulsa su puesta en marcha ya que, innovar en este sector de la minería (biolixiviación de minerales sin procesos de molienda primaria) significaría en caso de lograr valores similares a un proceso de lixiviado convencional, un golpe a las metodologías tradicionales del tratado de Calcopirita y similares, ahorrando recursos técnicos y económicos, minimizando envergadura de plantas completas, tiempos del proceso, y equipos asociados a aquella primera etapa de tratado de las materias primas. Para abordar la gestión de pautas y planes de mantenimiento para los numerosos activos presentes en el proyecto es pertinente abordar todo aspecto relacionado con la jerarquización de los activos, lo cual permite evaluar la criticidad de estos en función de las prestaciones que cumple en el proceso productivo.

1.3 JERARQUIZACIÓN DE ACTIVOS Y ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Un paso de suma relevancia previo a la puesta en marcha de la planta es la Jerarquización de Activos que estarán involucrados para así generar las primeras políticas y estrategias de mantenimiento correspondientes. Para ello, se realiza un taller en el cual se contemplan criterios de criticidad de la empresa para lograr jerarquizar cada sistema identificado en la etapa de comisionamiento por parte de la ingeniería de detalle.

Según la solicitud de empresa mandante consta en el desarrollo de un plan de mantenimiento a nivel de planta con el fin de controlar, mantener e inspeccionar los aspectos operativos de la prueba piloto, abordando desde equipos, instalaciones construidas y los recursos necesarios para mantener los activos disponibles para la operación. Es en aquel punto donde se profundiza en los diversos sectores que conformarán la planta para realizar un análisis que se adhiera a estrategias y criterios propios de la empresa mandante en cuanto a la priorización de sistemas en vista a una correcta operatividad en el año de prueba y recolección de data que se plantea para la planta.

Los procesos de jerarquización de activos que se llevan a cabo en diversos proyectos deben ser gestionados en etapas estratégicas, para ello, una herramienta que permite establecer cuándo y qué hacer es el Modelo de Gestión del Mantenimiento (MGM), el cual enfatiza en las diversas acciones pertinentes por ejecutar en las diversas fases por las cuales atraviesa empleando técnicas específicas según los requerimientos. En el caso particular, la etapa que conlleva la jerarquización de los activos se sitúa en Fase 2 de MGM de Parra y Crespo, bajo aquella fase es que se realizarán todas las acciones de jerarquización.



Figura 1.3-1: Modelo de Gestión del Mantenimiento
Fuente: Modelo de Gestión del Mantenimiento propuesto (MGM) (Parra y Crespo, 2012)

1.3.1 DESARROLLO TALLER DE JERARQUIZACIÓN

Parte relevante del proceso de definición de la criticidad de los activos son los talleres de jerarquización que se han llevado a cabo, sin embargo, antes de su aplicación se hace empleo de un estándar interno de la empresa minera el cual consta de una categorización de cada activo bajo ciertos criterios que procesados bajo la ecuación expuesta (1.3-1), serán el valor de entrada para la definición de una matriz cualitativa de riesgo y de la criticidad final que estos activos posean. Esta fórmula considera dos aspectos fundamentales, los cuales son: Probabilidad de Ocurrencia y Severidad. Según esto, los datos se evalúan tal como se indica en ecuación 1.3-1.

$$\text{Puntaje de Criticidad} = \text{Factor Prob. de Ocurrencia} \times \text{Factor de Severidad}$$

Ecuación 1.3-1: Modelo para determinación de Criticidad de equipos
Fuente: Estándar interno

Para aplicar dicho estándar se poseen los criterios de evaluación con su correspondiente nivel y factor, tal como se presenta en tablas 1.3-1 y 1.3-2 respectivamente.

Tabla 1.3-1: Evaluación de probabilidad de eventos de falla

EVALUACIÓN DE PROBABILIDAD		
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: Estándar interno

En cuanto a la evaluación de probabilidad de eventos, el factor y nivel asignado comprende un plazo establecido de 1 año y a su vez, se toma en consideración una posible extensión de la prueba según la cantidad de información que pueda ser recopilada a la fecha establecida. Según aquel criterio, se cuantifica este apartado en niveles Muy probable (3) y Probable (1).

Tal como se ha evaluado en aspectos de PROBABILIDAD, se cuenta también con los criterios para definir la SEVERIDAD, esto se determina considerando los factores presentes en tabla 1.3-2, los cuales abarcan aspectos de salud, repercusiones ambientales, repercusiones en la comunidad, derechos humanos, impacto a nivel de empresa y repercusiones económicas.

Tabla 1.3-2: Evaluación de severidad de eventos de falla

EVALUACIÓN DE SEVERIDAD		
Factor de Severidad	Nivel de Severidad	Descripción
1000	5	6 o más muertes o 6 o más enfermedades que acortan la vida; Impacto severo en el medio ambiente, donde la recuperación de la función del ecosistema lleva 10 años o más; Impacto severo en la comunidad que dura más de 12 meses; violación sustentada de los derechos humanos que afecta a 6 o más personas; 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.
300	4	1-5 muertes o 1-5 enfermedades que acortan la vida; Impacto grave en el medio ambiente, donde la recuperación de la función del exosistema lleva entre 3 y hasta 10 años; Impacto grave en la comunidad que dura de 6 a 12 meses, o una violación sustentada de los derechos humanos que afecta 1-5 personas; 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; Entre 250 millones de dólares y hasta 2 mil millones de dólares.
100	3	Lesión o enfermedad que altera la vida o capacidad a largo plazo/permanente para una o más personas; Impacto sustancial en el medio ambiente donde la recuperación de la función del ecosistema lleva entre 1 hasta 3 años; 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 o provincia); Entre 50 millones de dólares y hasta 250 millones de dólares.
30	2	Lesión o enfermedad no alteradora de la vida o discapacidad a corto plazo para una o más personas; Impacto medible pero limitado en el medio ambiente, donde la recuperación de la función del ecosistema lleva menos de 1 año; Impacto medible pero limitado en la comunidad que dura menos de un mes; Impacto medible pero limitado en la reputación de la empresa, derechos legales o cumplimiento, o proposición de valor social a nivel local (región, ciudad o pueblo); Entre 2 millones de dólares y hasta 50 millones de dólares.
10	1	Impacto de nivel bajo que resulta en primeros auxilios solamente; Impacto menor y temporal en el medio ambiente donde el ecosistema se recupera con poca intervención; Impacto menor y temporal en la comunidad que se recupera con poca intervención; Impacto menor y temporal en la reputación de la empresa, derechos legales o cumplimiento, o proposición de valor social; Menos de 2 millones de dólares.
3	1b	Impacto insignificante en la salud y seguridad, medio ambiente, reputación o aspectos legales; Entre 25.000 y hasta 250.000 dólares.
1	1c	Impacto nulo en la salud y seguridad, medio ambiente, reputación o aspectos legales; Por debajo de los 25.000 dólares.

Fuente: Estándar interno

En este caso, la severidad evaluada según los criterios se sitúan también en niveles bajos, significando un factor de severidad de 1 y 3 de acuerdo con posibles repercusiones a nivel de personal, medio ambiente, imagen de la empresa y costes de penalización.

El conjunto de factores evaluados hasta el momento se relacionan para la creación de una matriz cualitativa de riesgo que tiene por objetivo situar gráficamente los factores evaluados, esta matriz generada en el proceso de jerarquización se establece en tabla 1.3-3.

Tabla 1.3-3: Matriz cualitativa de riesgo bajo criterios preestablecidos

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	0.1	1	3	10	30	100
0.03	0.03	0.09	0.3	0.3	3	9	30

Fuente: Taller de Jerarquización

Según el puntaje obtenido, representado en tabla 1.3-3, se desprende que la criticidad de los equipos presentan un nivel medio – bajo. Dada aquella condición, se determina bajo las directrices del estándar interno que el plan de mantenimiento de la planta debe realizarse bajo CRITERIO EXPERTO.

Con aquella condición definida, se toma la determinación de realizar un pre - taller de jerarquización en el cual se establecen las primeras directrices para categorizar los activos evaluados, y finalmente efectuar el taller de jerarquización definitivo que permitirá obtener la criticidad resultante de los activos a nivel de planta mediante un trabajo colaborativo entre empresa mandante y empresa asesora. Se realiza en primera instancia una reunión sólo con personal de la contratista para definir aspectos por considerar en esta nueva etapa, para ello se hace uso de plantillas de evaluación que permiten establecer una primera segmentación en el nivel jerárquico que involucra a los activos. Este primer paso permite definir los contenidos por abordar, tomando en consideración las siguientes temáticas:

- Se emplea la identificación de sistemas y subsistemas obtenidos por la ingeniería de detalles.
- Para cada sistema abordado se evalúan 6 aspectos principales:
 - Impacto Operacional
 - Impacto HSE
 - Flexibilidad Operacional
 - Repuestos
 - Probabilidad de Falla
 - Detectabilidad de Falla
- El panel de expertos plantea comentarios y solicita aclaraciones sobre la evaluación, las cuales se registran en la planilla para ser reevaluados e informados a personal de empresa mandante en taller final.
- Se registran sugerencias y recomendaciones para ser consideradas por empresa mandante y empresa asesora en el desarrollo de la estrategia de mantenimiento.
- Cada aspecto se cuantifica según un puntaje de evaluación en concordancia con lo indicado en tabla 1.3-4.

Tabla 1.3-4: Ponderaciones según criterios de evaluación

Impacto operacional	Puntaje	Probabilidad de falla	Puntaje
Alto	5	Probable que ocurra 1 vez dentro de 6 meses	3
Medio	3	Probable que ocurra 1 vez dentro de 1 año	2
Bajo	1	Probable que ocurra 1 vez después de 1 año o más	1
Impacto en HSE	Puntaje	Repuestos	Puntaje
Alto	3	No existe repuesto en bodega	2
Medio	2	Existe repuesto en bodega	1
Bajo	1	-	-
Flexibilidad Operacional	Puntaje	Detectabilidad de falla	Puntaje
No existe redundancia	3	No detectable operacionalmente	3
Existe equipo Spare	2	Detectable desde terreno	2
Existe equipo en Stand-By	1	Detectable desde sala de control	1

Fuente: Pre-Taller de Jerarquización

En base a los criterios de evaluación establecidos en tabla 1.3-4 se define el nivel jerárquico del total de 40 sistemas que se encuentran en la planta, incluyendo al de Ácido Nítrico. El análisis realizado permite establecer las ponderaciones según cada ítem considerado y posteriormente calcular la criticidad tal como se indica en ecuación 1.3-2, la cual consta en la multiplicación de los valores definidos por cada criterio en función de los sistemas evaluados.

$$\text{Criticidad} = \text{Imp. HSE} \times \text{Imp. Op.} \times \text{Prob. falla} \times \text{Flex. Op.} \times \text{Detec. Falla}$$

Ecuación 1.3-2: Modelo para determinación de Criticidad y Jerarquización

Fuente: Pre-Taller de Jerarquización

Siguiendo en el proceso de jerarquización, para lograr una correcta trazabilidad de la información obtenida es necesario contar con una identificación de las áreas en las cuales se distribuyen los 40 sistemas, esta nomenclatura se desprende desde diagrama P&ID y consiste en una codificación estandarizada que permite obtener una identificación (TAG) única para los equipos presentes en la planta piloto. Dependiendo de los procesos que se llevan a cabo en estas zonas del proceso, se les asigna una numeración en particular que es expuesta en tabla 1.3-5.

Tabla 1.3-5: Identificación de principales áreas de planta piloto

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

Fuente: Elaboración propia a partir de Taller de Jerarquización

Con las áreas de la planta ya definidas para los 40 sistemas, se establecen los resultados del análisis cualitativo en tabla 1.3-6.

Tabla 1.3-6: Resultados de criticidad evaluados en primera instancia

RESULTADO JERARQUIZACIÓN DE ACTIVOS PRELIMINAR								
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 Inoculo	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	Lavado 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 Inoculo desde TK 0201	1	3	2	1	1	6
950	0950-04	Alimentación de Inoculo 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

Durante la evaluación de los hallazgos se definieron las criticidades de los equipos dando foco prioritario al impacto operacional como HSE, jerarquizando los equipos tal como se muestra en tabla 1.3-6, logrando así, obtener un análisis preliminar acerca de la criticidad de los sistemas existentes en planta piloto.

Posteriormente se efectúa el taller definitivo, en el cual se cuenta con participación de equipo de empresa asesora y personal de la mandante, teniendo como objetivo establecer de forma definitiva cuáles serán las directrices por seguir en la siguiente etapa. Una de las actividades realizadas en esta instancia fue la evaluación de la criticidad de activos, tomando en consideración el estándar interno de la empresa minera quienes cuentan con criterios predefinidos para todos sus proyectos en Chile. En este punto y tomando en consideración el

proceso de jerarquización a base de un criterio experto, se efectúa una modificación puntual en aspectos de la valorización de Impacto HSE la cual se explica a continuación:

- Impacto HSE (Higiene, Seguridad, Ambiente) experimenta un aumento en ponderación para caso Medio y Alto, significando una modificación de valor 2 a 3 y 3 a 5 respectivamente, resultando en las siguientes cuantificaciones según se evidencia en tabla 1.3-7.

Tabla 1.3-7: Aumento de ponderaciones para Impacto HSE en contraste con expuesto en tabla 1.3-4

Impacto HSE	Puntaje
Alto	5
Medio	3
Bajo	1

Fuente: Taller de Jerarquización

La modificación expuesta en punto anterior y tabla 1.3-7 se fundamenta en la naturaleza del proceso productivo y la manipulación de agentes potencialmente nocivos que pueden significar un riesgo latente hablando de repercusiones medioambientales y a personal involucrado en caso de existir alguna eventualidad en instalaciones y/o equipos presentes en los sistemas. Debido a esta modificación es que se realiza una segunda plantilla de jerarquización de los sistemas, obteniendo así el listado definitivo de sistemas con sus criticidades finales permitiendo así, contar con primeros lineamientos sobre qué activos (según el sistema en el cual se ubiquen) requerirán de mayores esfuerzos técnico – económicos para el mantenimiento y control de procesos involucrados.

El resultado de la aplicación de nuevas ponderaciones en la jerarquización de activos se plasma al detalle en tabla 1.3-8.

Tabla 1.3-8: Resultados de criticidad según taller definitivo

RESULTADO TALLER DEFINITIVO								
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	Lavado 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 Inoculo desde TK 0201	1	3	2	1	1	6
950	0950-04	Alimentación de Inoculo 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 Área 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

Dicha plantilla evidencia la reestructuración de las criticidades de sistemas involucrados, la metodología de cálculo se mantiene tal cual se establece en ecuación 1.3-1, significando justamente la calificación de **sistema de Ácido Nítrico como Sistema Crítico.**

La coloración según nivel de criticidad se establece según los siguientes rangos:

Criticidad Baja → 0 a 9

Criticidad Media → 10 a 29

Criticidad Alta → 30 a 80

1.4 DIAGRAMA DE FLUJO DE SISTEMA CRÍTICO

El diagrama de flujo relacionado al sistema crítico contempla el proceso desde la recepción de Ácido Nítrico, posterior almacenamiento en estanques y distribución a través de la planta, abarcando sistemas de impulsión, mezcladores estáticos, agitadores e intercambiadores de calor. En ilustración 1.4-1 se ordenan esquemáticamente los equipos del sistema dispuestos en diferentes áreas de la planta, además, se complementa con tabla 1.4-2, la cual cuenta con la totalidad de equipos presentes en el sistema abordado.

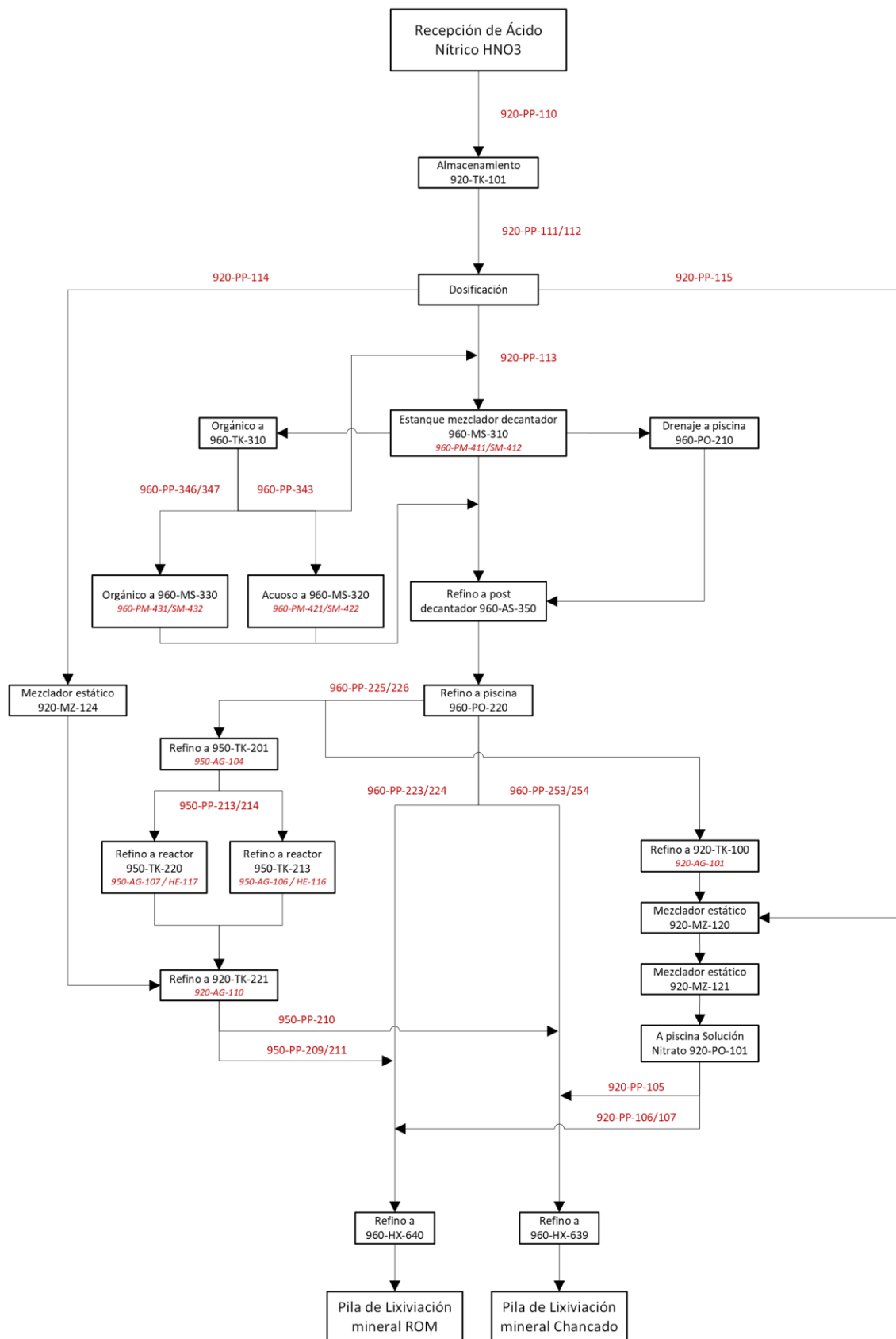


Figura 1.4-1: Diagrama de flujo de sistema de Ácido Nítrico
Fuente: Elaboración propia a partir de diagrama P&ID de proyecto

Tabla 1.4-1: Identificación de equipos sistema de Ácido Nítrico

LISTADO DE EQUIPOS		
TAG	Descripción	
1	920-PP-110	Bomba Descarga Ácido Nítrico
2	920-TK-101	Estanque Ácido Nítrico
3	920-PP-111	Bomba Ácido Nítrico
4	920-PP-112	Bomba Ácido Nítrico (Stand-By)
5	920-PP-113	Bomba dosificadora Ácido Nítrico
6	920-PP-114	Bomba dosificadora Ácido Nítrico
7	920-PP-115	Bomba dosificadora Ácido Nítrico
8	960-MS-310	Estanque Mezclador Decantador E1
9	960-PM-411	Agitador Bombeador E1
10	960-SM-412	Agitador Secundario E1
11	960-TK-310	Estanque decantador Orgánico
12	960-MS-330	Estanque Mezclador Decantador R1
13	960-PM-431	Agitador Bombeador R1
14	960-SM-432	Agitador Secundario R1
15	960-MS-320	Estanque Mezclador Decantador E2
16	960-PM-421	Agitador Bombeador E2
17	960-SM-422	Agitador Secundario E2
18	960-PO-210	Piscina de Derrames SX
19	960-AS-350	Post decantador de Refino
20	960-PO-220	Piscina de Refino
21	960-PP-225	Bomba traspaso piscina Refino Inoculo / Nitrato
22	960-PP-226	Bomba traspaso piscina Refino Inoculo / Nitrato (Spare)
23	950-TK-201	Estanque Mezclador 1
24	950-AG-104	Agitador estanque de Inoculación 1
25	950-PP-213	Bomba trasvasije Inóculo
26	950-PP-214	Bomba trasvasije Inóculo (Spare)
27	950-TK-220	Estanque reactor de Inóculo 2
28	950-AG-107	Agitador reactor Inóculo 2
29	950-HE-117	Calefactor reactor 2
30	950-TK-213	Estanque reactor de Inóculo 1
31	950-AG-106	Agitador reactor Inóculo 1
32	950-HE-116	Calefactor reactor 1
33	920-MZ-124	Mezclador estático Ácido Nítrico
34	920-TK-221	Estanque riego Inóculo
35	920-AG-110	Agitador estanque riego Inóculo
36	950-PP-209	Bomba riego Inóculo Pila ROM
37	950-PP-210	Bomba riego Inóculo Pila Chancado
38	950-PP-211	Bomba riego Inóculo Pila Chancado (Spare)
39	920-TK-100	Estanque preparación Nitrato
40	920-AG-101	Agitador estanque preparación Nitrato
41	920-MZ-120	Mezclador estático Ácido Nítrico
42	920-MZ-121	Mezclador estático Ácido Nítrico
43	920-PP-105	Bomba piscina Nitrato
44	920-PP-106	Bomba piscina Nitrato
45	920-PP-107	Bomba piscina Nitrato (Spare)
46	960-HX-640	Intercambiador de Calor Pila ROM
47	960-HX-639	Intercambiador de Calor Pila Chancado

Fuente: Elaboración propia

En el listado de equipos presentes en el sistema de Ácido Nítrico se establecen una cierta gamma de equipos que según su TAG pueden ser categorizados de diversa forma. Los códigos TAG se formulan con el número de área, tipo de equipo y número identificador, siendo el tipo de equipo un conjunto de siglas que se definen en tabla 1.4-3.

Tabla 1.4-2: Identificación de tipo de equipos en sistema de Ácido Nítrico

IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS	
Código	Descripción
PP	Bombas en general
TK	Estanques
AG	Agitadores
MS	Mezclador decantador
PM	Agitador bombeador
SM	Agitador secundario
PO	Piscinas
AS	Post decantador
HE	Calefactores
MZ	Mezclador estático
HX	Intercambiadores de calor

Fuente: Elaboración propia

La definición de códigos según tipo de equipo permite obtener un filtro directo en cuanto a identificación y posterior levantamiento de activos que se encuentren en la planta piloto, además, esto permite contar con una metodología de trabajo eficiente que radica en la realización de pautas de mantenimiento según el tipo de equipo y emitir las versiones de documentos en grupos de activos específicos.

En Capítulo 2 se profundiza en el sistema crítico, estableciendo las características de los equipos y la finalidad del sistema, contando también con una descripción de los activos presentes para la definición de metodologías empleadas en elaboración de pautas de mantenimiento.

CAPÍTULO 2: IDENTIFICACIÓN DE ACTIVOS Y METODOLOGÍA DE GENERACIÓN DE PAUTAS DE MANTENIMIENTO

2.1 DESCRIPCIÓN DE ACTIVOS Y PAUTAS DE MANTENIMIENTO

Contando con la información evaluada en capítulo 1, se explica en esta instancia el proceso que se lleva a cabo en el sistema de Ácido Nítrico, centrado atención en aquellos activos que según redundancia y repercusión en el proceso productivo signifiquen un mayor nivel de criticidad en las actividades de mantenimiento. Se aborda la metodología en la elaboración de pautas, considerando que el proceso se aplica a todos los activos de la planta.

2.2 DESCRIPCIÓN DE SISTEMA CRÍTICO

Según resultados de taller de jerarquización se ha establecido que sistema crítico corresponde a aquel destinado a la distribución, almacenamiento, tratado y repartición de derivados del Ácido Nítrico para el riego de pilas de mineral ROM y mineral Chancado. Este sistema consta con una primera etapa en la cual el producto es descargado del camión proveedor con uso de una bomba centrífuga horizontal e impulsado a través de piping hacia estanque 920-TK-101, para luego experimentar la fase de dosificación hacia 3 puntos en paralelo por bombas de membrana (920-PP-112/113/114). Este proceso de dosificación es necesario ya que se busca procesar el Ácido Nítrico con otros agentes químicos y generar compuestos que provean un ambiente ácido ideal para la actuación de los agentes biológicos en el momento en que se aplique a pilas de biolixiviación.

Continuando el proceso productivo, se atraviesa por diferentes zonas de la planta gracias al empleo de sistemas de impulsión, principalmente bombas centrífugas horizontales (PP), permitiendo el desplazamiento constante de las soluciones en el sistema. Para el tratado de químicos se cuenta con mezcladores decantadores, estos consisten en estanques que cumplen la función de homogeneizar la solución a medida que se adicionan otras sustancias como nitrato de sodio, orgánico, refino y agua de proceso. El paso de la sustancia por estos activos (categorizados como MS) implica la presencia de agitadores bombeadores y agitadores secundarios (PM y SM respectivamente) que en conjunto permiten un flujo estable hacia la siguiente etapa. También se cuenta con diferentes estanques (TK), algunos con presencia de equipos como agitadores (AG) y/o calefactores de inducción (HE) que almacenan y permiten el adecuado tratado de las sustancias antes del riego de las pilas. Otro método empleado en la preparación de sustancias es el uso de mezcladores estáticos (MZ) que, dada su naturaleza y características constructivas, no precisan de actividades de monitoreo frecuente o de mantenimientos con altas frecuencias. Todo este conjunto de sustancias recaen en piscinas ya existentes en el proyecto (PO) y bajo los criterios establecidos sobre políticas de mantenimiento, estas no requieren de actividades de inspección o monitoreo de condición exhaustivo más que la revisión periódica de testigo para evaluar posibles filtraciones. Finalmente, un grupo de activos fundamentales que se ubican

previo al riego de las pilas son los intercambiadores de calor (HE), en el presente caso se dispone de un equipo para cada línea (riego ROM y riego Chancado) cumpliendo un rol crucial en la temperatura que la solución final (denominada REFINO) necesita para favorecer la acción de los agentes químicos y biológicos en el proceso de biolixiviado.

En resumidas cuentas, el Ácido Nítrico que será tratado es un elemento fundamental para la prueba piloto, considerando que en conjunto con la adición de otros elementos permiten contar con un refino con características ideales para ser suministrado en pilas de biolixiviación y así poner en prueba la metodología de extracción de sin inconvenientes.

Si bien, la empresa mandante cuenta con formatos preestablecidos en pautas y planes de mantenimiento que actualmente son utilizados, el equipo de empresa asesora en conjunto con representante de empresa minera ha llegado al consenso de realizar pautas de mantenimiento con un nuevo formato homologado para la totalidad de activos presentes, siendo bombas centrífugas, estanques agitadores e intercambiadores de calor los activos de mayor criticidad dentro del sistema en cuestión.

Dado el contexto operacional del sistema, se ha determinado que Estanques Agitadores e Intercambiadores de Calor se sitúan como aquellos que implican una mayor relevancia en el proceso, excluyendo a bombas centrífugas debido a que son redundantes, es decir, cuentan con equipos en calidad de Stand-By (activos de respaldo dispuestos en línea de producción a modo de by-pass) y/o equipos en calidad Spare (activos disponibles en bodega para su eventual reemplazo según eventualidades).

Para abordar el presente capítulo se selecciona pauta realizada específicamente a Intercambiadores de Calor, centrando atención en 1 de los 2 equipos presentes en sistema de Ácido Nítrico (de un total de 4 presentes en totalidad de planta), siendo éste, el IC identificado como 960-HX-640 que se dispone en línea de riego para pila de mineral ROM. Tal como en casos anteriores, habiendo definido el sistema o activo por abordar, se realiza un diagrama fundamentado en un extracto del P&ID de proyecto en el cual se representa todo elemento asociado este activo en particular, abordando piping, instrumentación y válvulas.

2.2.1 DIAGRAMA Y DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS

En este punto se expone el diagrama correspondiente al activo en específico dentro del sistema completo para abordar la metodología que se empleó en la generación de pautas de mantenimiento a nivel de planta, además de describir todo equipo y accesorio presente en esta línea.

En ilustración 2.2-1 se establece esquemáticamente cada elemento presente en la zona delimitada en diagrama P&ID de proyecto.

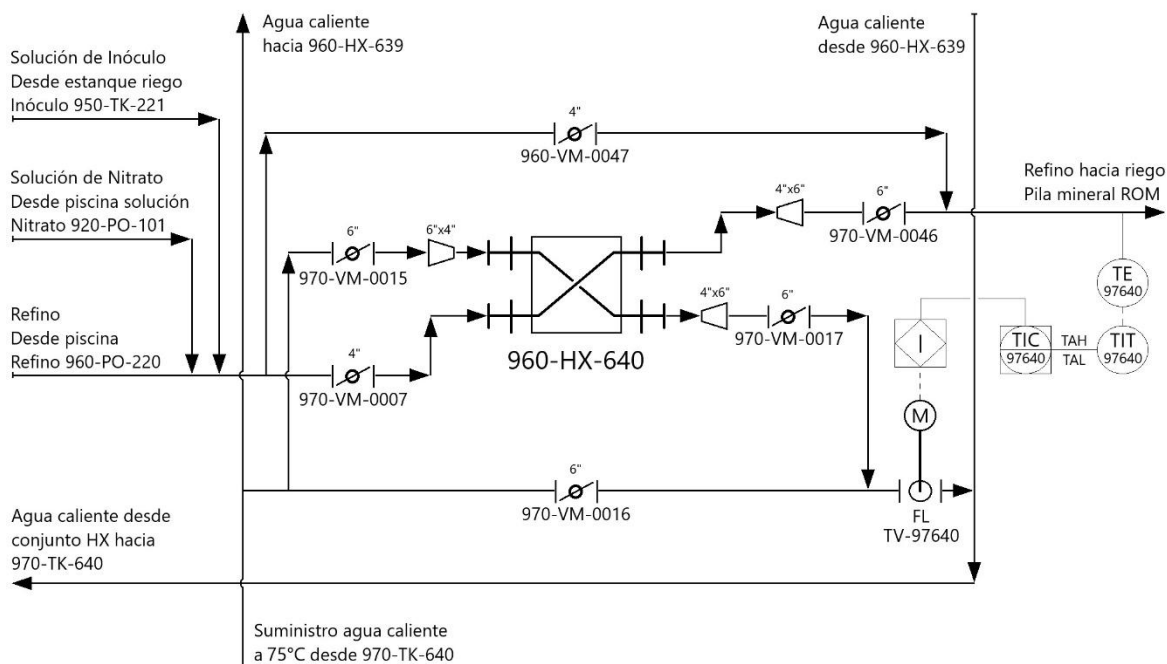


Figura 2.2-1: Diagrama equipo Intercambiador de calor con accesorios e instrumentación
Fuente: Elaboración propia a partir de diagrama P&ID

Según se aprecia en ilustración previa, se cuenta con el activo principal, 960-HX-640, el cual consiste en un Intercambiador de Calor de placas perteneciente a la marca Alfa-Laval, este activo cumple la función de elevar la temperatura que posee el Refino de Riego generado a través de piping y sin necesidad de un mezclador estático, producto que se logra con la mezcla de Refino proveniente de 960-PO-220, Solución de Nitrato proveniente de piscina 920-PO-101 y Solución de Inóculo desde estanque de Inoculación 950-TK-221.

El equipo cuenta con 4 conexiones totales, de las cuales 2 corresponden a refino de riego que se aplica en pilas de lixiviación y otras 2 para la circulación de agua caliente proveniente de estanque 970-TK-640, un activo que no se ha abordado en sistema de Ácido Nítrico pero que juega un rol fundamental en la operación de este equipo. La transferencia de calor se estima en una temperatura de entrada del agua de 75°C y salida de 63°, para otorgar de aquel modo la elevación de temperatura del refino de 18°C a 25°C en la salida.

Respecto a los diferentes elementos que se encuentran en línea de impulsión, se cuenta con válvulas manuales de tipo mariposa y 1 válvula de bola de accionamiento automático siendo todas éstas de diámetro de 6", se cuenta con diversas reducciones de 6" a 4" para homologar piping con entradas de Intercambiador de Calor y en salida se posee un sock-olet para conectar la instrumentación requerida para la monitorización de temperatura del fluido, denominado TE/TIT-97640 "Sensor de Temperatura Indicador y Transmisor", el cual permite el control de dicho parámetro desde sala de control de la planta.

Cabe destacar que cada elemento descrito previamente requiere de actividades de inspección para garantizar el correcto funcionamiento y evitar cualquier tipo de deterioro durante el período de prueba establecido. Según esto, se procede a la elaboración de pauta de mantenimiento que considere cada ítem abarcado en zona correspondiente.

2.3 ELABORACIÓN DE PAUTA DE MANTENIMIENTO

Luego de la identificación de activos y elementos asociados se comienza con la elaboración del documento que consta de diversos puntos en particular que conforman la estructura solicitada por empresa mandante para su posterior empleo durante el año que dura el proyecto.

La estructura de las pautas efectuadas se compone por 9 puntos totales, los cuales corresponden a:

1. Introducción
2. Objetivos y alcance
3. Descripción de equipos
4. Documentos relacionados
5. Dotación de personal
6. Plan de Mantenimiento Preventivo
7. Listado de repuestos e insumos
8. Checklist
9. Anexos

Durante la extensión del documento se establecen las consideraciones generales tales como objetivos del documento, su alcance y exclusiones. A su vez, se aborda cada apartado estableciendo los elementos asociados al activo, las características constructivas y operacionales de éste, la dotación de personal necesaria para ejecutar los mantenimientos preventivos propuestos, los requerimientos tanto de repuestos e insumos según suministro del proveedor, Checklist para su empleo en campo y anexos que complementan lo expuesto en desarrollo del documento, tales como planos, diagramas y/o listado de repuestos y ubicación.

2.3.1 ASPECTOS GENERALES

En la primera sección de pautas de mantenimiento se establece información general, dentro de la cual se cuenta con el nombre y código correspondiente para el documento según activo, información que ha sido generada previamente por personal de asesora de ingeniería, además, se cuenta con la fecha de cada edición del documento que se ha elaborado. Esta documentación se genera y retroalimenta según revisiones internas y revisiones con profesionales de empresa mandante, quedando establecidas en portada del documento realizado. Bajo aquello, se cuenta a lo largo del proceso con 3 versiones concretas las cuales se clasifican de la siguiente forma:

- Revisión A: Documento realizado y revisado por comisión interna.
- Revisión B: Documento actualizado para complementar con comentarios de cliente.
- Revisión 0: Documento final con ambas revisiones previas, disponible para su utilización por parte de personal de mantenimiento.

Además de lo anterior, se establecen las generalidades del proyecto como la solicitud efectuada por parte de empresa mandante a empresa asesora, esto se aprecia en pauta expuesta en punto 2.4.

0	30/08/2024	Uso					
B	03/06/2024	Comentarios Cliente					
A	03/06/2024	Revisión Interna					
<i>Revisión</i>	<i>Fecha</i>	<i>Emitido para</i>	<i>Preparó</i>	<i>Revisó</i>	<i>Aprobó</i>	<i>Cliente</i>	<i>Cliente</i>
P2408			N° P2408-EXE-0000-ME-STD-0027			N° CLIENTE P2408-EXE-0000-ME-STD-0027	
							0

Figura 2.3-1: Recuadro de información de documento
Fuente: Extracto de Pauta de Mantenimiento Intercambiador de Calor Refino ROM

2.3.2 OBJETIVOS Y ALCANCE

Parte esencial que se debe considerar por cada documento que se ha generado es establecer el objetivo de éste en conjunto con el alcance, e incluso, las exclusiones debidas. Esto se ha considerado relevante de establecer en cada pauta para lograr la exclusividad de aplicación de estas únicamente para el activo en específico y de aquel modo no presentar incongruencias sobre las actividades de mantenimiento debido a una posible la omisión de los alcances debidos. A partir de estas consideraciones, se establece el siguiente objetivo del documento:

- “El objetivo de este plan de mantenimiento consiste en establecer las tareas y frecuencias necesarias para mantener Intercambiador de Calor Refino Riego ROM en un estado operativo óptimo. Se ha considerado un año calendario de operación.”

Del mismo modo, en cuanto al alcance que se establece para el documento se desprende:

- “La aplicación de lo dispuesto en este documento abarca los equipos asociados a los subsistemas que tienen relación con Intercambiador de Calor Refino Riego ROM, en la planta ___ de ___, situada en Minera ___.”

Es pertinente establecer también los equipos y otros elementos que formarán parte de la pauta, para esto se genera tabla 2.3-1, en la cual se identifican los activos presentes en el subsistema de Intercambiador de Calor Refino ROM.

Tabla 2.3-1: Tabla de identificación de equipos

TAG	Descripción	Fabricante Modelo	Estado
960-HX-640	Intercambiador de Calor Refino	Alfa Laval T10-MFG	Operativa
960-VM-0047	Válvula Mariposa	Sin información	Operativa
960-VM-0007	Válvula Mariposa	Sin información	Operativa
970-VM-0015	Válvula Mariposa	Sin información	Operativa
960-VM-0046	Válvula Mariposa	Sin información	Operativa
970-VM-0017	Válvula Mariposa	Sin información	Operativa
970-VM-0016	Válvula Mariposa	Sin información	Operativa
TV-97640	Válvula Reguladora	Sin información	Operativa
TE/TIT-97640	Sensor de temperatura Indicador y Transmisor	Sin información	Operativa

Fuente: Pauta de mantenimiento Intercambiador de Calor Refino ROM

Según se plantea en tabla 2.3-1, se establece el listado de elementos que serán abordados en la pauta, identificándolos según su identificación TAG, descripción propia, información referente al fabricante y estado en el cual se encuentran.

En el caso de fabricante o modelo, en el presente caso se tiene información solamente del equipo principal, siendo un Intercambiador de Calor de la marca Alfa Laval, modelo T10-MFG. Para instrumentación y válvulas presentes en este caso no se ha proporcionado la información del vendedor referente a fabricantes y modelos, motivo por el cual se establece en calidad de “sin información”.

Finalmente, es pertinente establecer el estado en el cual se encuentra el ítem aludido, enfatizando en que se pueden tener equipos en calidad:

- Operativo: Equipo en funcionamiento constante.
- Stand-By: Equipo de respaldo dispuesto en By-pass.
- Spare: Equipo dispuesto en bodega por emplear según requerimientos.

2.3.3 DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS

En esta sección del documento se establecen las características constructivas, parámetros operacionales, y datos generales de fabricante acerca del equipo principal. Esta sección informativa es relevante para quienes hagan uso de la pauta durante las actividades de mantenimiento correspondientes ya que en función de aquella información expuesta en este apartado se pueden realizar inspecciones sobre el equipo y determinar si se encuentra dentro de los parámetros de funcionamiento ideales en el proceso productivo. Naturalmente se contará con información complementaria del activo que no es de suma importancia, según esta consideración, aquellos datos se establecen en punto 9 de las pautas correspondiente a “anexos”.

La pauta cuenta con 1 equipo principal y es precisamente el intercambiador de calor, para ello se dispone información del activo en tabla 2.3-2 y figura 2.3-2.

Tabla 2.3-2: Descripción de activo, parámetros operacionales y aspectos generales

INTERCAMBIADOR	
Fabricante	Alfa Laval
Modelo	T10-MFG
Cantidad	1
Peso neto vacío	295 [kg]
Número de Placas	10
Material de placas	Alloy C276
Espesor de placas	0,6 [mm]
Distancia de compresión placas (A)	46 [mm]
Empaquetaduras	NBRP ClipGrip
Potencia	225,1 [kW]
Conexiones (S1; S2; S3; S4)	ASME B16.5 Clase 150 NPS 4
Diámetro de conexiones (S1; S2; S3; S4)	4"
Rosca conexiones (cantidad, tipo, largo)	8; 5/8"-11 UNC; 69 [mm]
Pernos de apriete principales (cantidad, tipo, Largo)	4 U; M24; L = 327 [mm]
Pernos de apriete intermedios (cantidad, tipo, Largo)	3 U; M24; L = 327 [mm]
LADO 1	
Fluido	Agua
Temperatura máxima de funcionamiento	75°C
Temperatura entrada S1	75°C
Temperatura salida S2	63°C
Caudal	16,59 [m³/h]
Pérdida de carga	27,2 [kPa]
Tipo de canal placa	1*4 LNa
LADO 2	
Fluido	Refino Riego Rom
Temperatura máxima de funcionamiento	25°C
Temperatura entrada S3	18°C
Temperatura salida S4	25°C
Caudal	23 [m³/h]
Pérdida de carga	33,7 [kPa]
Tipo de canal placa	1*5 LWi

Fuente: Pauta de mantenimiento Intercambiador de Calor Riego ROM

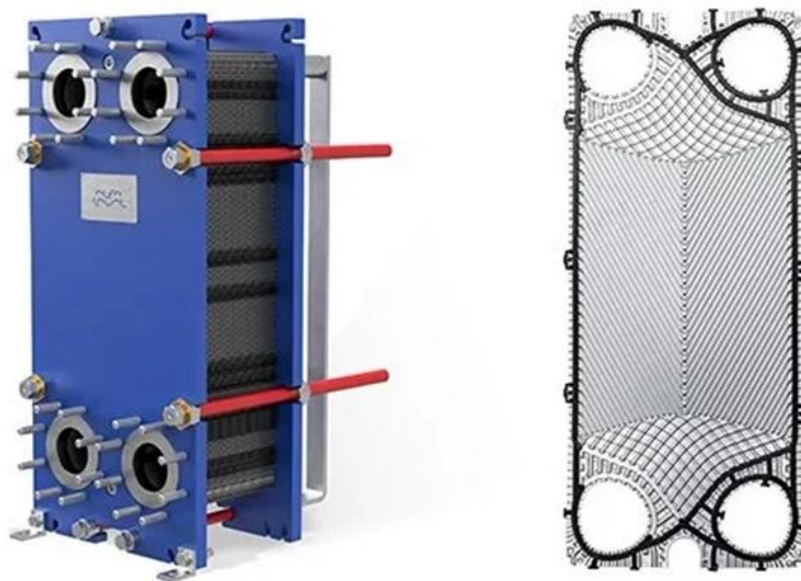


Figura 2.3-2: Imagen referencial de equipo Intercambiador de Calor
Fuente: Referencial según modelo de equipo

2.3.4 DOCUMENTOS RELACIONADOS, DOTACIÓN DE PERSONAL Y REPUESTOS O INSUMOS

En primer lugar, se debe de especificar qué documentos se han utilizado para el desarrollo completo de la pauta, y también puede servir de apoyo al personal si es requerido. Para esta pauta se utilizó información de la siguiente documentación:

- Detalles de equipos y mantenimiento.
- Plano Intercambiador de Calor de Placas y Juntas.
- P&ID proyecto XXXX agrupados en subsistemas.
- Informe de Jerarquización de equipos XXX.
- Listado instrumentos XXXX.

También se ha ajustado para toda la planta una cantidad de personal específico dividido en los 2 turnos que se contarán durante este año de prueba. La cantidad y tipo de profesionales son los siguientes:

Tabla 2.3-3: Dotación de personal según turnos

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

Fuente: Pauta de mantenimiento Intercambiador de Calor Riego ROM

Y en términos de repuestos e insumos, el proveedor facilita un conjunto de empaquetaduras para su disposición entre placas denominados: Gasket DR10M NBRP ClipGrip RIB EP2; DR10M-NBRP-CG-Rib-LP CHANNEL PLATE GASKET, en conjunto de la recomendación de emplear grasa en pernos del equipo y evitar capas de oxidación. Todo se establece en pauta adjunta en sección Anexos.

2.3.5 PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Para estandarizar la operación de mantenimiento, las actividades se agrupan 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 u 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.

Siguiendo los criterios establecidos, se utiliza la documentación técnica entregada por la empresa mandante para definir qué tareas de mantenimiento se deben realizar y con qué frecuencia. Para esto, se analizan manuales de instalación y mantenimiento, planos, fichas técnicas y ofertas comerciales, que sirven como referencia para el equipo encargado de elaborar las Pautas de Mantenimiento.

Con esta información se han determinado las actividades a realizar y su periodicidad, considerando los criterios definidos, las políticas de mantenimiento acordadas y los datos que han sido analizados a partir de los documentos relacionados. Así, se genera un plan de mantenimiento con tareas programadas en intervalos semanales, mensuales, trimestrales y semestrales, las cuales se detallan en la tabla 2.3-4.

Tabla 2.3-4: Actividades de mantenimiento según tipo y frecuencia

ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO INTERCAMBIADOR DE CALOR REFINO RIEGO ROM	
FRECUENCIA	ACTIVIDAD
Semanal	Inspección visual
	Inspeccionar presencia de fugas en juntas o alrededor de placas.
	Comprobar si hay acumulación de condensación o indicaciones de corrosión externa en las placas.
	Inspeccionar y registrar temperaturas en intercambiador de calor para asegurar un correcto funcionamiento.
	Comprobar mediante manómetro que la presión en entradas y salidas del intercambiador de calor sean idóneas para un funcionamiento y rendimiento efectivo.
	Inspección de condición
Realizar limpieza de superficies externas del intercambiador de calor para evitar la acumulación de polvo y suciedad que pueda disminuir la eficiencia térmica.	
Mensual	Inspección de condición
	Inspeccionar que guarda polvo de roscas y guías de columnas se encuentren en condiciones óptimas para prevenir corrosión.
	Comprobar que todas las conexiones estén seguras y no existan signos de corrosión o desgaste.
	Verificar que medida entre placa de presión y bastidor se encuentre dentro de rango establecido.
	Inspeccionar que válvulas manuales y motorizadas abran y cierren con suavidad para verificar su buen estado operacional.
Comprobar que lecturas de TE sean consistentes con señales emitidas por TIT para garantizar un funcionamiento efectivo.	

Tabla 2.3-5: Actividades de mantenimiento según tipo y frecuencia (continuación)

ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO INTERCAMBIADOR DE CALOR REFINO RIEGO ROM	
FRECUENCIA	ACTIVIDAD
Trimestral	Inspección de condición
	Comprobar la integridad y apriete de todos los elementos de fijación entre intercambiador y líneas de entrada y salida.
	Realizar limpieza superficial en válvulas para evitar acumulación de residuos que interfieran en su correcta operación.
	Desmontar, inspeccionar y limpiar instrumentación asociada según condición evaluada para eliminar acumulación de residuos que puedan afectar su funcionamiento y precisión.
	Verificar y ajustar calibración de instrumentos de medición según los estándares requeridos para mantener la precisión.
	Lubricación
	Renovar película lubricante en roscas y guía de columnas.
	Evaluación y optimización de sistema
Realizar pruebas de diagnóstico avanzadas para evaluar el estado de los circuitos y la integridad de la comunicación de datos.	
Semestral	Inspección de condición
	Realizar limpieza química tipo CIP para asegurar un correcto funcionamiento y rendimiento del intercambiador de calor.

Fuente: Pauta de mantenimiento Intercambiador de Calor Riego ROM

Como se muestra en la tabla 2.3-4 y su continuación, se ha definido una amplia variedad de actividades de mantenimiento, exceptuando una posible prueba de funcionamiento ya que durante el período de un año no se ha contemplado una detención que permita realizar este tipo de pruebas.

La información complementaria sobre estas actividades puede encontrarse en los documentos relacionados o en los anexos de la Pauta. Un ejemplo de esta situación es la presencia de planos que indican aspectos como la distancia entre la placa de presión y el bastidor, un aspecto que está incluido en la inspección de condición mensual.

Además, las actividades listadas en la tabla anterior se apoyan con la elaboración de un Checklist, una sección dentro de las Pautas utilizada en campo para verificar el estado de cada actividad programada. Este documento incluye casillas para registrar los resultados de la inspección, junto con la identificación del responsable, su firma y la fecha en que se realizó la tarea.

2.4 PAUTA DE MANTENIMIENTO

Se plasma en la presente sección la estructura final que involucra al documento realizado, asimismo, se ejecuta mismo proceder para todos los activos correspondientes a la planta, significando un estimado de 45 documentos totales.

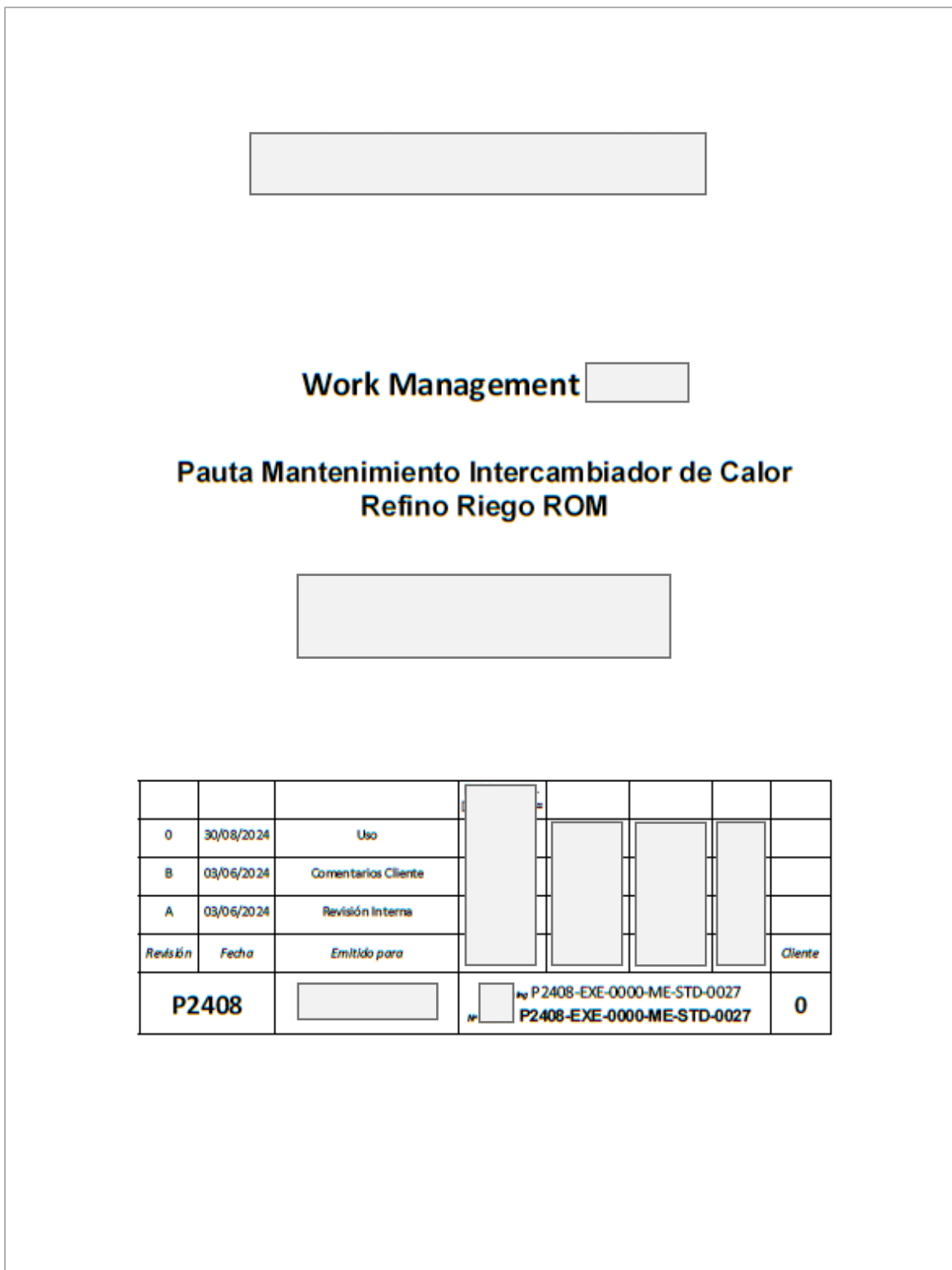


Figura 2.4-1: Portada de Pautas
Fuente: Pauta de mantenimiento Intercambiador de Calor Riego ROM



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. Descripción de equipos 2

4. Documentos relacionados 4

5. Dotación 4

6. Plan de mantenimiento preventivo 5

7. Listado de repuestos e insumos 6

8. Checklist 7

 8.1. Frecuencia Semanal 7

 8.2. Frecuencia Mensual 8

 8.3. Frecuencia Trimestral 9

 8.4. Frecuencia Semestral 10

9. Anexos 10

Índice de Tablas

Tabla 2-1: Identificación de equipos Intercambiador de Calor Refino Riego ROM 2

Tabla 3-1: Descripción Intercambiador de Calor Refino Riego ROM 3

Tabla 4-1: Documentos de referencia 4

Tabla 5-1: Dotación de personal para Mantenimiento 4

Tabla 6-1: Actividades de mantenimiento a Intercambiador de calor Refino Riego ROM 5

Tabla 7-1: Listado de repuestos e insumos 6

Índice de Figuras

Figura 3-1: Imagen referencial Intercambiador de Calor 2

Figura 9-1: Plano de conexiones S1; S2; S3; S4 en Intercambiador de Calor 10

Figura 9-2: Plano Placa de Bastidor 11

Figura 9-3: Plano Placa de Presión 11

Figura 9-4: Plano vista lateral de Intercambiador de Calor 12

Figura 2.4-2: Tabla de contenido de Pautas
Fuente: Pauta de mantenimiento Intercambiador de Calor Riego ROM

[Redacted]

[Redacted]

1. Introducción

[Redacted] desarrollado un proceso denominado "NitroBio" para lixiviación de calcopirita. Como parte de su desarrollo, se ha dispuesto la construcción de una Planta Piloto denominada "NitroBio Demonstrative [Redacted]" 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.

[Redacted] solicitado a [Redacted] 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 Intercambiador de Calor Refino Riego ROM en un estado operativo óptimo. 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 Intercambiador de Calor Refino Riego ROM, en la planta [Redacted], situada en [Redacted]. Estos equipos están identificados en la tabla 2-1.

2.3. Exclusiones

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

Figura 2.4-3: Información introductoria del documento
Fuente: Pauta de mantenimiento Intercambiador de Calor Riego ROM



Tabla 2-1: Identificación de equipos Intercambiador de Calor Refino Riego ROM

TAG	DESCRIPCIÓN	FABRICANTE MODELO	ESTADO
960-HX-640	Intercambiador de Calor Refino	Alfa Laval T10-MFG	Operativa
960-VM-0047	Válvula Mariposa	Sin información	Operativa
960-VM-0007	Válvula Mariposa	Sin información	Operativa
970-VM-0015	Válvula Mariposa	Sin información	Operativa
960-VM-0046	Válvula Mariposa	Sin información	Operativa
970-VM-0017	Válvula Mariposa	Sin información	Operativa
970-VM-0016	Válvula Mariposa	Sin información	Operativa
TV-97640	Válvula Reguladora	Sin información	Operativa
TE/TIT-97640	Sensor de temperatura Indicador y Transmisor	Sin información	Operativa

3. Descripción de equipos

A continuación, se describen los equipos que forman parte del sistema intercambio de calor en áreas de Refino Riego Rom.

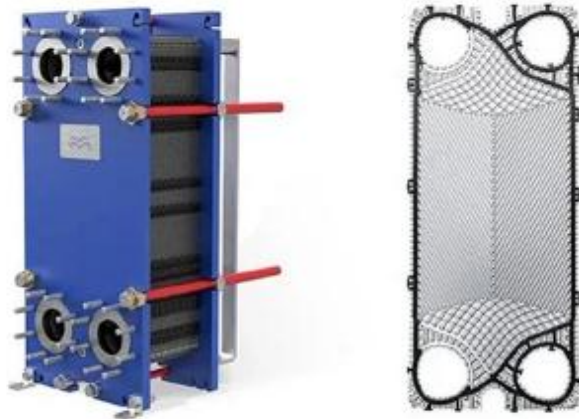


Figura 3-1: Imagen referencial Intercambiador de Calor

Figura 2.4-4: Desarrollo de Pauta, identificación de equipos y referencias
Fuente: Pauta de mantenimiento Intercambiador de Calor Riego ROM

Tabla 3-1: Descripción Intercambiador de Calor Refino Riego ROM

INTERCAMBIADOR	
Fabricante	Alfa Laval
Modelo	T10-MFG
Cantidad	1
Peso neto vacío	295 [kg]
Número de Placas	10
Material de placas	Alloy C276
Espesor de placas	0,6 [mm]
Distancia de compresión placas (A)	46 [mm]
Empaquetaduras	NBRP ClipGrip
Potencia	225,1 [kW]
Conexiones (S1; S2; S3; S4)	ASME B16.5 Clase 150 NPS 4
Diámetro de conexiones (S1; S2; S3; S4)	4"
Rosca conexiones (cantidad, tipo, largo)	8; 5/8" -11 UNC; 69 [mm]
Pernos de apriete principales (cantidad, tipo, Largo)	4; M24; L = 327 [mm]
Pernos de apriete intermedios (cantidad, tipo, Largo)	3; M24; L = 327 [mm]
LADO 1	
Fluido	Agua
Temperatura máxima de funcionamiento	75 °C
Temperatura entrada S1	75 °C
Temperatura salida S2	63 °C
Caudal	16,59 [m³/h]
Pérdida de carga	27,2 [kPa]
Tipo de canal placa	1*4 LNa
LADO 2	
Fluido	Refino Riego Rom
Temperatura máxima de funcionamiento	25 °C
Temperatura entrada S3	18 °C
Temperatura salida S4	25 °C
Caudal	23 [m³/h]
Pérdida de carga	33,7 [kPa]
Tipo de canal placa	1*5 LWI

Figura 2.4-5: Descripción de equipos e información técnica
Fuente: Pauta de mantenimiento Intercambiador de Calor Riego ROM

[Redacted]

[Redacted]

4. 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.

Tabla 4-1: Documentos de referencia

DOCUMENTO	DESCRIPCIÓN
22219-23-MJ-MPM-ICS y Rptos Alfa Laval-OFERTA FINAL_MODIF.pdf	Detalles de equipos y mantenimiento.
T10-MFG- TAG 0960-HX-00640	Plano Intercambiador de Calor de Placas y Juntas.
H372160-0000-530-120-0001-APOB	P&ID proyecto [Redacted], agrupados en subsistemas.
P [Redacted] EXE-0000-ME-INF-0002	Informe de Jerarquización de equipos [Redacted].
[Redacted]-0900-IC-LST-55001_0	Listado instrumentos [Redacted].

5. Dotación

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 5-1: Dotación de personal para Mantenimiento

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

Figura 2.4-6: Especificación de documentos empleados y dotación presupuestada
Fuente: Pauta de mantenimiento Intercambiador de Calor Riego ROM



6. Plan de mantenimiento preventivo

A continuación, se mencionan las actividades de mantenimiento relacionadas con la unidad descrita anteriormente. En capítulo 8 se presentan Checklist de inspección para cada frecuencia.

El Intercambiador de Calor Refino Riego Rom recae en categoría de criticidad baja según criterios establecidos.

Tabla 6-1: Actividades de mantenimiento a Intercambiador de calor Refino Riego ROM

ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO INTERCAMBIADOR DE CALOR REFINO RIEGO ROM	
FRECUENCIA	ACTIVIDAD
Semanal	Inspección visual
	Inspeccionar presencia de fugas en juntas o alrededor de placas.
	Comprobar si hay acumulación de condensación o indicaciones de corrosión externa en las placas.
	Inspeccionar y registrar temperaturas en intercambiador de calor para asegurar un correcto funcionamiento.
	Comprobar mediante manómetro que la presión en entradas y salidas del intercambiador de calor sean idóneas para un funcionamiento y rendimiento efectivo.
	Inspección de condición
Realizar limpieza de superficies externas del intercambiador de calor para evitar la acumulación de polvo y suciedad que pueda disminuir la eficiencia térmica.	
Mensual	Inspección de condición
	Inspeccionar que guarda polvo de roscas y guías de columnas se encuentren en condiciones óptimas para prevenir corrosión.
	Comprobar que todas las conexiones estén seguras y no existan signos de corrosión o desgaste.
	Verificar que medida entre placa de presión y bastidor se encuentre dentro de rango establecido.
	Inspeccionar que válvulas manuales y motorizadas abran y cierren con suavidad para verificar su buen estado operacional.
	Comprobar que lecturas de TE sean consistentes con señales emitidas por TIT para garantizar un funcionamiento efectivo.
Trimestral	Inspección de condición
	Comprobar la integridad y apriete de todos los elementos de fijación entre intercambiador y líneas de entrada y salida.
	Realizar limpieza superficial en válvulas para evitar acumulación de residuos que interfieran en su correcta operación.
	Desmontar, inspeccionar y limpiar instrumentación asociada según condición evaluada para eliminar acumulación de residuos que puedan afectar su funcionamiento y precisión.
	Verificar y ajustar calibración de instrumentos de medición según los estándares requeridos para mantener la precisión.

Figura 2.4-7: Definición de actividades de mantenimiento para abordar equipo
Fuente: Pauta de mantenimiento Intercambiador de Calor Riego ROM

ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO INTERCAMBIADOR DE CALOR REFINO RIEGO ROM	
<i>Continuación</i>	
FRECUENCIA	ACTIVIDAD
Trimestral	Lubricación
	Renovar película lubricante en roscas y guía de columnas.
	Evaluación y optimización de sistema
	Realizar pruebas de diagnóstico avanzadas para evaluar el estado de los circuitos y la integridad de la comunicación de datos.
Semestral	Inspección de condición
	Realizar limpieza química tipo CIP para asegurar un correcto funcionamiento y rendimiento del intercambiador de calor.

7. 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 dos.

Tabla 7-1: Listado de repuestos e insumos

EQUIPO	REPUESTOS
INTERCAMBIADOR DE CALOR REFINO RIEGO ROM T10-MFG	Gasket DR10M NBRP ClipGrip RIB EP2
	DR10M-NBRP-CG-Rib-LP CHANNEL PLATE GASKET
	INSUMOS
	Grasa de Litio Multipropósito

Figura 2.4-8: Continuación de actividades de mantenimiento y definición de repuestos e insumos
Fuente: Pauta de mantenimiento Intercambiador de Calor Riego ROM

8. Checklist

8.1. Frecuencia Semanal

CHECKLIST						
Lista de actividades - Frecuencia: Semanal		Resultados inspección	Ejecutor	Apellido	Firma	Fecha
Tarea	Inspección visual					
1	Inspeccionar presencia de fugas en juntas o alrededor de placas.	Normal				
		Deficiente				
2	Comprobar si hay acumulación de condensación o indicaciones de corrosión externa en las placas.	Normal				
		Deficiente				
4	Inspeccionar y registrar temperaturas en intercambiador de calor para asegurar un correcto funcionamiento.	Normal				
		Deficiente				
5	Comprobar mediante manómetro que la presión en entradas y salidas del intercambiador de calor sean idóneas para un funcionamiento y rendimiento efectivo.	Normal				
		Deficiente				
Tarea Inspección de condición						
6	Limpiar las superficies externas del intercambiador de calor para evitar la acumulación de polvo y suciedad que pueda disminuir la eficiencia térmica.	Normal				
		Deficiente				
Observaciones:						

Figura 2.4-9: Checklist para utilización en campo
Fuente: Pauta de mantenimiento Intercambiador de Calor Riego ROM

8.2. Frecuencia Mensual

CHECKLIST							
Lista de actividades - Frecuencia: Mensual		Resultados inspección		Ejecutor	Apellido	Firma	Fecha
Tarea	Inspección de condición						
1	Inspeccionar que guarda polvo de roscas y guías de columnas se encuentren en condiciones óptimas para prevenir corrosión.	Normal	<input type="checkbox"/>				
		Deficiente	<input type="checkbox"/>				
2	Comprobar que todas las conexiones estén firmes y no existan signos de corrosión o desgaste.	Normal	<input type="checkbox"/>				
		Deficiente	<input type="checkbox"/>				
3	Verificar que medida entre placa de presión y bastidor se encuentre dentro de rango establecido.	Normal	<input type="checkbox"/>				
		Deficiente	<input type="checkbox"/>				
4	Inspeccionar que válvulas manuales y motorizadas abran y cierren con suavidad para verificar su buen estado operacional.	Normal	<input type="checkbox"/>				
		Deficiente	<input type="checkbox"/>				
5	Comprobar que lecturas de TE sean consistentes con señales emitidas por TIT para garantizar un funcionamiento efectivo.	Normal	<input type="checkbox"/>				
		Deficiente	<input type="checkbox"/>				
Observaciones: 							

Figura 2.4-10: Checklist para utilización en campo (continuación)
Fuente: Pauta de mantenimiento Intercambiador de Calor Riego ROM

8.3. Frecuencia Trimestral

CHECKLIST							
Lista de actividades - Frecuencia: Trimestral		Resultados inspección		Ejecutor	Apellido	Firma	Fecha
Tarea	Inspección de condición						
1	Comprobar la integridad y apriete de todos los elementos de fijación entre intercambiador y líneas de entrada y salida.	Normal	<input type="checkbox"/>				
		Deficiente	<input type="checkbox"/>				
2	Realizar limpieza superficial en válvulas para evitar acumulación de residuos que interfieran en su correcta operación.	Normal	<input type="checkbox"/>				
		Deficiente	<input type="checkbox"/>				
3	Desmontar, inspeccionar y limpiar instrumentación asociada según condición evaluada para eliminar acumulación de residuos que puedan afectar su funcionamiento y precisión.	Normal	<input type="checkbox"/>				
		Deficiente	<input type="checkbox"/>				
4	Verificar y ajustar calibración de instrumentos de medición según los estándares requeridos para mantener la precisión.	Normal	<input type="checkbox"/>				
		Deficiente	<input type="checkbox"/>				
Tarea Lubricación							
5	Renovar película lubricante en roscas y guía de columnas.	Normal	<input type="checkbox"/>				
		Deficiente	<input type="checkbox"/>				
Tarea Evaluación y optimización de sistema							
6	Realizar pruebas de diagnóstico avanzadas para evaluar el estado de los circuitos y la integridad de la comunicación de datos.	Normal	<input type="checkbox"/>				
		Deficiente	<input type="checkbox"/>				
Observaciones:							

Figura 2.4-11: Checklist para utilización en campo (continuación)
Fuente: Pauta de mantenimiento Intercambiador de Calor Riego ROM

--	--

8.4. Frecuencia Semestral

CHECKLIST						
Lista de actividades - Frecuencia: Semestral		Resultados inspección	Ejecutor	Apellido	Firma	Fecha
Tarea	Inspección de condición					
1	Realizar limpieza química tipo CIP para asegurar un correcto funcionamiento y rendimiento del intercambiador de calor.	Normal				
		Deficiente				
Observaciones:						

9. Anexos

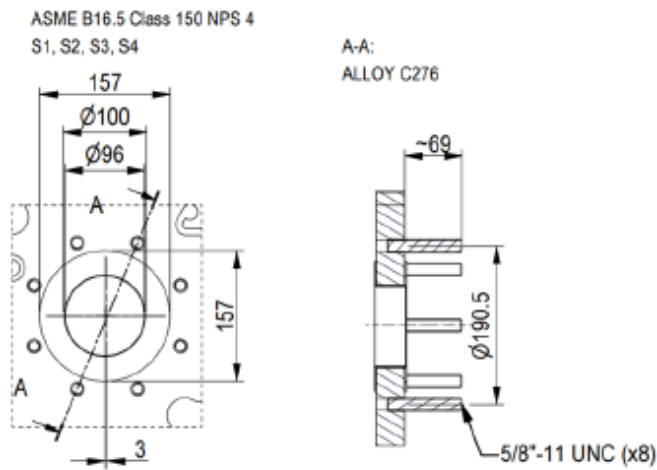


Figura 9-1: Plano de conexiones S1; S2; S3; S4 en Intercambiador de Calor

Figura 2.4-12: Checklist para utilización en campo (continuación) y anexos
Fuente: Pauta de mantenimiento Intercambiador de Calor Riego ROM



PLACA DE BASTIDOR

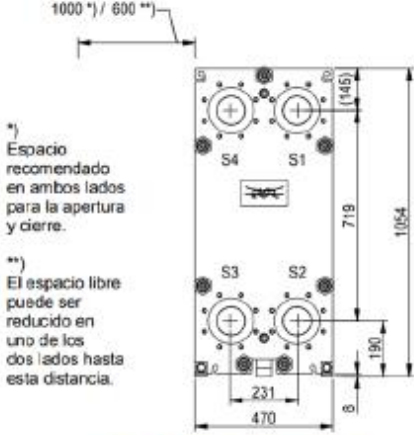


Figura 9-2: Plano Placa de Bastidor

**PLACA DE PRESION
(MOVIBLE)**

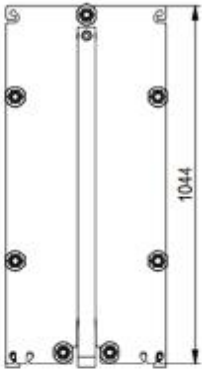


Figura 9-3: Plano Placa de Presión

Figura 2.4-13: Anexos (continuación)
Fuente: Pauta de mantenimiento Intercambiador de Calor Riego ROM

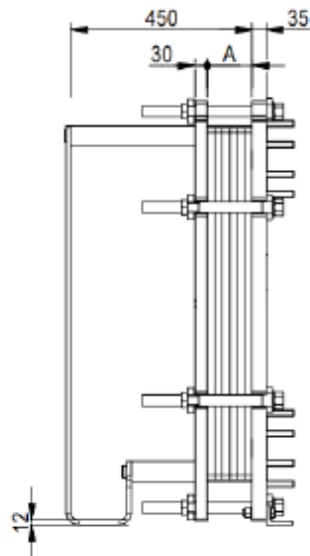


Figura 9-4: Plano vista lateral de Intercambiador de Calor

CAPÍTULO 3: **PROGRAMACIÓN Y ELABORACIÓN DE MASTERPLAN DE MANTENIMIENTO**

3.1 MASTERPLAN DE MANTENIMIENTO

En este capítulo se desarrolla la elaboración del plan de mantenimiento (o Masterplan) basado en la totalidad de pautas que han sido desarrolladas tal como se restablece en el capítulo anterior. La finalidad de dicho documento es guiar la adopción y aplicación del Plan y Programa de Mantenimiento para la Planta Piloto, detallando las consideraciones y recomendaciones necesarias para su implementación efectiva con un horizonte de un año. Se describe en qué consiste el programa, sus componentes y proporciona directrices prácticas para facilitar su puesta en marcha, buscando garantizar la disponibilidad, confiabilidad y eficiencia de los equipos y sistemas presentes procurando aplicar estrategias de mantenimiento adecuadas según los criterios que han sido tomados en cuenta.

3.2 CONSIDERACIONES GENERALES

Para la estructuración del plan de mantenimiento se han establecido una serie de consideraciones tales como:

- El Masterplan de mantenimiento considera únicamente un período de ejecución de 1 año (52 semanas).
- Durante la visita del personal encargado en realizar las actividades de mantenimiento, un mantenedor debe asistir a las 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 sobre la marcha y han de ser incluidas en el programa de actividades por el programador de corto plazo.

Además de aquellas consideraciones, se proponen 3 escenarios de dotación de personal para el equipo de mantenimiento en vista a la estimación de carga que se asignará.

a) Escenario 1:

Tabla 3.2-1: Personal en Escenario 1

TURNO	DOTACIÓN	ESPECIALIDAD
Día	1	Supervisor
	3	Electromecánico
	1	Instrumentista
Noche	1	Supervisor
	2	Electromecánico

Fuente: Elaboración de Masterplan

b) Escenario 2:

Tabla 3.2-2: Personal en Escenario 2

TURNO	DOTACIÓN	ESPECIALIDAD
Día	1	Supervisor
	4	Electromecánico
	1	Instrumentista
Noche	1	Supervisor
	2	Electromecánico

Fuente: Elaboración de Masterplan

c) Escenario 3

Tabla 3.2-3: Personal en Escenario 3

TURNO	DOTACIÓN	ESPECIALIDAD
Día	1	Supervisor
	5	Electromecánico
	1	Instrumentista
Noche	0	Sin dotación

Fuente: Elaboración de Masterplan

Estos escenarios posibles de cantidad de personal se relacionan estrechamente con la gran cantidad de equipos que deben de inspeccionarse y mantenerse a lo largo de la prueba. Si bien, en pautas de mantenimiento se considera una totalidad de 8 personas, distribuidas de la forma “Escenario 1”, se realizan los supuestos 2 y 3 en caso de cualquier adversidad en las cuadrillas conformadas.

El listado completo de pautas de mantenimiento que han sido la base para la generación del Masterplan se muestra a continuación:

Tabla 3.2-4: Documentos de referencia para Masterplan

Documentos de referencia	
Documentos	Descripción
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
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

Tabla 3.2-5: Documentos de referencia para Masterplan (continuación)

Documentos de referencia	
Documento	Descripción
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

Fuente: Elaboración de pautas de mantenimiento

Cada pauta referenciada cuenta con su lista de actividades de mantenimiento preventivo con frecuencias específicas y cabe destacar que todas estas tareas han sido categorizadas en inspección visual; inspección de condición; lubricación; prueba de control; prueba de funcionamiento; evaluación y optimización de sistema. Gracias al correcto ordenamiento de las tareas por ejecutar es que se pueden realizar las estimaciones de tiempos requeridos para cada actividad de mantenimiento, lo cual da origen a las siguientes consideraciones:

- Cada turno tiene una duración de 12 horas, de las cuales, se considera un porcentaje efectivo de utilización del 75% con respecto al total de horas disponibles.
- Las HH disponibles corresponden estrechamente a las horas reales disponibles en planta con la dotación referida en tablas 3.2-1; 3.2-2; 3.2-3.

- Las HH media serán el promedio de horas a utilizar según la planificación de mantenimiento.

Si bien ya se posee una referencia de las horas con las que se puede contar por cada turno dependiendo de la dotación de personal, es importante considerar que se ha establecido un rango de tiempos estimados para cada actividad de mantenimiento, las cuales dependerán de la situación presente al intervenir el equipo, considerando en casos favorables:

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

Además, el plan de mantenimiento considera un Factor de Complejidad denominado FC, cuyo propósito es ajustar los tiempos asociados a las actividades por ejecutar en función de las características operativas de cada equipo, como en su estructura física, peso, potencia, entre otras.

Y en complemento de lo anterior, para cada tipo de tarea se establece el siguiente estándar de tiempo destinado a su ejecución:

Tabla 3.2-6: Estándar de tiempos 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: Elaboración de Masterplan

Lo que se busca con la información de tabla 3.2-6 es lograr contar con un tiempo referencial que se ajuste a la realidad del proyecto y el tipo de actividades, lo cual permite gestionar de mejor forma la cuantificación de los tiempos requeridos por cada actividad de mantenimiento generada para las pautas.

Cabe destacar que no se han contabilizado en este proceso, los tiempos para las siguientes actividades:

- Eventuales mantenimientos correctivos.
- Desplazamientos del trabajador entre un equipo u otro.
- Tareas previas a la realización de actividades, como la desenergización de equipos, solicitudes de permisos para ejecución de actividades, entre otras.

3.3 ESTRUCTURACIÓN DE MASTERPLAN

En el proceso formulación del Plan de Mantenimiento se ha ido recopilando toda la información generada a lo largo del servicio de asesoría, y en este punto ya se cuenta con las bases para comenzar a establecer de forma gráfica la estructura del Masterplan.

3.3.1 TIEMPOS POR EQUIPO

En primer lugar, de acuerdo con el equipo y el tipo de tareas por realizar, se han establecido los tiempos medios correspondientes a los diferentes tipos de tareas, tomando en consideración los tiempos mínimos (T_{mín}), tiempos máximos (T_{máx}) y factor de complejidad (FC) tal como se abordan en punto 3.2.

Con aquella información ya se da forma a la primera tabla correspondiente a tiempos por equipos que ha sido ejecutada para todos los activos considerados, sin embargo, en este caso se adjunta el extracto referido al equipo Intercambiador de Calor.

Tabla 3.3-1: Tiempos estimados por actividad de mantenimiento

Equipo	Frecuencia	Tarea	T mín [min]	T máx [min]	FC Tarea	HH prom
Intercambiador de calor	Semanal	Inspección visual	10	15	1,0	0,21
Intercambiador de calor	Semanal	Inspección visual	10	15	1,0	0,21
Intercambiador de calor	Semanal	Inspección visual	10	15	1,0	0,21
Intercambiador de calor	Semanal	Inspección visual	10	15	1,0	0,21
Intercambiador de calor	Semanal	Inspección de condición	15	25	1,0	0,33
Intercambiador de calor	Mensual	Inspección de condición	15	25	1,0	0,33
Intercambiador de calor	Mensual	Inspección de condición	15	25	1,0	0,33
Intercambiador de calor	Mensual	Inspección de condición	15	25	1,0	0,33
Intercambiador de calor	Mensual	Inspección de condición	15	25	1,0	0,33
Intercambiador de calor	Trimestral	Inspección de condición	15	25	1,0	0,33
Intercambiador de calor	Trimestral	Inspección de condición	15	25	1,0	0,33
Intercambiador de calor	Trimestral	Inspección de condición	15	25	1,0	0,33
Intercambiador de calor	Trimestral	Inspección de condición	15	25	1,0	0,33
Intercambiador de calor	Trimestral	Inspección de condición	15	25	1,0	0,33
Intercambiador de calor	Trimestral	Lubricación	20	40	1,0	0,50
Intercambiador de calor	Trimestral	Evaluación y optimización de sistema	30	50	1,0	0,67
Intercambiador de calor	Semestral	Inspección de condición	15	25	1,5	0,50

Fuente: Elaboración de Masterplan

Si bien se ha determinado un rango de tiempo específico para las actividades que se observan en tabla 3.2-1, este valor comúnmente variará según el Factor de Complejidad (FC) que es algo inherente para cada uno de los equipos que se han tabulado en el plan completo. En este caso se presenta un extracto orientado a los tiempos promedios para los equipos Intercambiadores de Calor presentes en las líneas de riego de mineral ROM y Chancado.

3.3.2 TIEMPOS POR ÁREA

Del mismo modo en que se ha realizado un balance de tiempos por cada tipo de activo, también se desarrolla una tabla que representa un resumen del tiempo por área que es requerido para las actividades de mantenimiento, desglosado por tipo de equipo y frecuencia de las actividades según se aprecia en tabla 3.3-2.

Tabla 3.3-2: 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						
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: Elaboración de Masterplan

3.3.3 MASTERPLAN

En el caso del Plan de Mantenimiento o Masterplan completo, este contiene el detalle de las actividades que han de realizarse para la totalidad de equipos en el proyecto. Tomando en cuenta la gran cantidad de tareas de mantenimiento que han sido formuladas para cada área y activo se logra obtener un total de 2692 actividades que poseen cada una sus tiempos de ejecución correspondientes. En su estructura se tienen columnas que permiten identificar por completo el activo, área, descripción, tipo de equipo, TAG, entre otras, sumado a las columnas de las semanas a nivel anual en las que se desempeñará el proyecto. La estructura referencial que posee es la siguiente, y se toma un extracto del Masterplan completo específicamente del Intercambiador de Calor para riego en pilas de mineral ROM.

Equipo	TT	Descripción	TAG	Área	Estado	Frecuencia	HH Tare	Tarea	Descripción tarea de mantenimiento	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
Intercambiador de calor		Intercambiador de calor Refino Riego ROM	0960-HX-640	970	Operativo	Semanal	0,21	Inspección visual	Inspeccionar presencia de fugas en juntas o alrededor de placas.	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
Intercambiador de calor		Intercambiador de calor Refino Riego ROM	0960-HX-640	970	Operativo	Semanal	0,21	Inspección visual	Comprobar si hay acumulación de condensación o indicaciones de corrosión externa en las placas.	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
Intercambiador de calor		Intercambiador de calor Refino Riego ROM	0960-HX-640	970	Operativo	Semanal	0,21	Inspección visual	Inspeccionar y registrar temperaturas en intercambiador de calor para asegurar un correcto funcionamiento.	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
Intercambiador de calor		Intercambiador de calor Refino Riego ROM	0960-HX-640	970	Operativo	Semanal	0,21	Inspección visual	Comprobar mediante manómetro que la presión en entradas y salidas del intercambiador de calor sean idóneas para un funcionamiento y rendimiento efectivo.	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
Intercambiador de calor		Intercambiador de calor Refino Riego ROM	0960-HX-640	970	Operativo	Semanal	0,33	Inspección de condición	Limpieza de las superficies externas del intercambiador de calor para evitar la acumulación de polvo y suciedad que pueda disminuir la eficiencia térmica.	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Intercambiador de calor		Intercambiador de calor Refino Riego ROM	0960-HX-640	970	Operativo	Mensual	0,33	Inspección de condición	Inspeccionar que guante polvo de resacas y guías de columnas se encuentren en condiciones óptimas para prevenir corrosión.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33
Intercambiador de calor		Intercambiador de calor Refino Riego ROM	0960-HX-640	970	Operativo	Mensual	0,33	Inspección de condición	Comprobar que todas las conexiones estén seguras y no existan signos de corrosión o desgaste.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33
Intercambiador de calor		Intercambiador de calor Refino Riego ROM	0960-HX-640	970	Operativo	Mensual	0,33	Inspección de condición	Verificar que medida entre placa de presión y bastidor se encuentre dentro de rango establecido.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33
Intercambiador de calor		Intercambiador de calor Refino Riego ROM	0960-HX-640	970	Operativo	Mensual	0,33	Inspección de condición	Comprobar que lecturas de YE sean consistentes con señales emitidas por TIT para garantizar un funcionamiento efectivo.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33
Intercambiador de calor		Intercambiador de calor Refino Riego ROM	0960-HX-640	970	Operativo	Mensual	0,33	Inspección de condición	Inspeccionar que válvulas manuales abran y cierren con suavidad para verificar su buen estado operacional.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33
Intercambiador de calor		Intercambiador de calor Refino Riego ROM	0960-HX-640	970	Operativo	Trimestral	0,33	Inspección de condición	Comprobar la integridad y apriete de todos los elementos de fijación entre intercambiador y líneas de entrada y salida.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Intercambiador de calor		Intercambiador de calor Refino Riego ROM	0960-HX-640	970	Operativo	Trimestral	0,33	Inspección de condición	Realizar limpieza superficial de válvulas para evitar acumulación de residuos que interfieren en su correcta operación	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Intercambiador de calor		Intercambiador de calor Refino Riego ROM	0960-HX-640	970	Operativo	Trimestral	0,33	Inspección de condición	Desmontar, inspeccionar y limpiar instrumentación asociada según condición evaluada para eliminar acumulación de residuos que puedan afectar su funcionamiento y precisión	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Intercambiador de calor		Intercambiador de calor Refino Riego ROM	0960-HX-640	970	Operativo	Trimestral	0,33	Inspección de condición	Verificar y ajustar calibración de instrumentos de medición según los estándares requeridos para mantener la precisión.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Intercambiador de calor		Intercambiador de calor Refino Riego ROM	0960-HX-640	970	Operativo	Trimestral	0,50	Lubricación	Renovar película lubricante en rosas y guía de columnas.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Intercambiador de calor		Intercambiador de calor Refino Riego ROM	0960-HX-640	970	Operativo	Trimestral	0,67	Evaluación y optimización de sistema	Realizar pruebas de diagnósticos avanzadas para evaluar el estado de los circuitos y la integridad de la comunicación de datos.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Intercambiador de calor		Intercambiador de calor Refino Riego ROM	0960-HX-640	970	Operativo	Semestral	0,50	Inspección de condición	Realizar limpieza química tipo CIP para asegurar un correcto funcionamiento y rendimiento del intercambiador de calor.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Figura 3.3-1: Extracto de Masterplan filtrado en Intercambiador de Calor Riego ROM
Fuente: Elaboración de Masterplan

Algunas consideraciones por aclarar es que debido a la disponibilidad y distribución del personal durante la planificación, las frecuencias estimadas para las tareas variarán en algunos casos en particular debido a que aquellas fueron formuladas en rangos de frecuencias estimados según las recomendaciones del fabricante, de esta forma se puede flexibilizar relativamente en el tiempo para su ejecución como es el caso de las tareas mensuales presentes en figura 3.3-1, que en vez de ser realizadas en semana 4 como teóricamente se ha propuesto, comienzan en semana 7 para luego seguir las frecuencias mensuales pactadas inicialmente. Este formato continúa su extensión a lo largo de las 52 semanas totales, en las cuales se van añadiendo nuevas actividades en frecuencias tanto trimestrales como semanales según se aprecia en figura 3.3-2.

S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24	S25	S26	S27	S28	S29	S30	S31	S32	S33	S34	S35	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	0,21	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	0,21	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	0,21	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	0,21	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	0,21	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	0,21	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	0,21	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	0,21	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
0,00	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	0,33	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	0,33	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	0,33	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	0,33	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	0,33	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	0,33	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	0,33	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	0,33	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	0,33	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	0,33	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	0,33	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	0,33	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																												

3.4 BALANCE DE CARGA

El balance de carga consiste en el análisis sobre la cantidad de horas disponibles en base a las horas totales que se disponen según la dotación de personal, el tiempo efectivo de utilización y el tiempo que emprende cada turno. De este modo se puede determinar de forma estimada cuánto es el tiempo promedio en horas con el que se cuenta para distribuir adecuadamente los tiempos de las actividades de mantenimiento.

Este proceso de análisis se ha generado tomando en cuenta las HH teóricas para las jornadas de 12 horas diarias, por 7 días y considerando la dotación del personal tal como se representa en tabla 3.2-1. Se realiza el análisis para los 3 escenarios descritos, sin embargo, se adjuntan los resultados correspondientes únicamente a escenario 1, el cual cuenta precisamente con la dotación de personal establecida en cada pauta de este proyecto.

Tabla 3.4-1: Disponibilidad por semana

Turno	Especialidad Dotación	Dotación	HH Total semana	% Efectivo de utilización	HH Disponibles por semana
Día	Electromecánico	3	252	75%	189
	Instrumentista	1	84	75%	63
Noche	Electromecánico	2	168	75%	126
Total			504		378

Fuente: Elaboración de Masterplan

Con la sumatoria del total de horas disponibles por semana, considerando aquel porcentaje efectivo de utilización, sirve de ayuda para lograr una referencia sobre las capacidades en cuanto a HH que se poseen para sobrellevar el mantenimiento a nivel de la planta, y considerando los tiempos totales que se tienen en cada una de las semanas del año según el Masterplan, se puede representar gráficamente los requerimientos de HH media por sobre las horas totales de mantenimiento, las cuales son precisamente 14478 [h]. La relación entre estos parámetros se establece gráficas de figura 3.4-1 y figura 3.4-2.

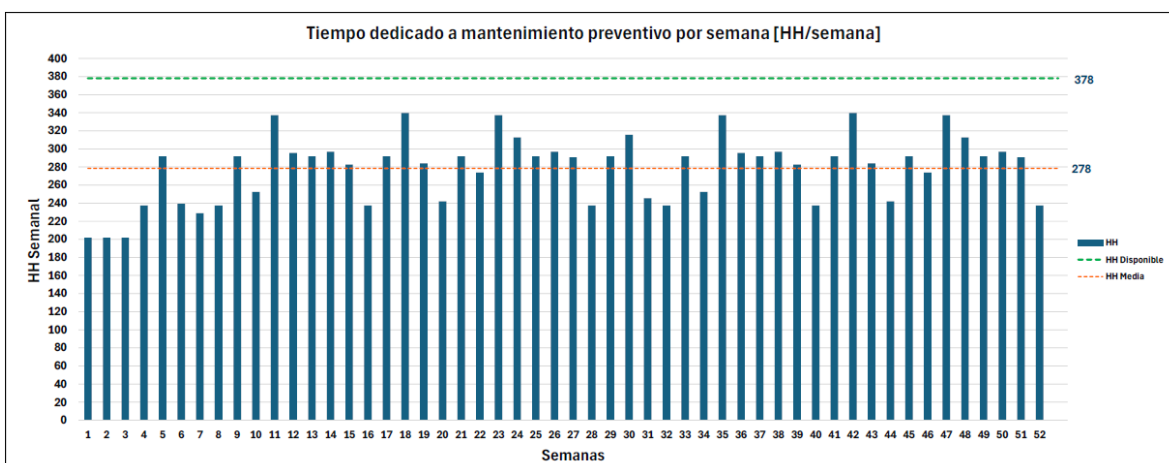


Figura 3.4-1: Gráfica Balance de Carga de horas hombre para actividades de mantenimiento por semana

Fuente: Elaboración de Masterplan

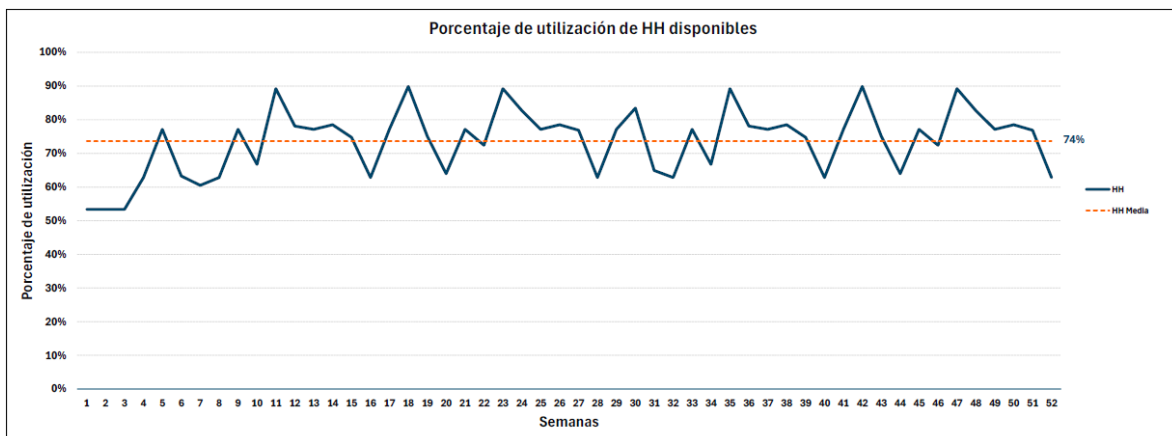


Figura 3.4-2: Porcentaje de horas utilizadas con respecto a horas disponibles
Fuente: Elaboración de Masterplan

3.5 RESUMEN DE MASTERPLAN

Finalmente, se desarrolla un panel que permite obtener una visión general tanto del área de la planta como por semana, visualizándose la programación de las actividades de mantenimiento semanales (A), mensuales (B), trimestrales (C) y semestrales (D), permitiendo corroborar la carga de trabajo y la planificación global. En esta tabla se adjuntan las actividades según su letra identificatoria, el tiempo que cada una conlleva en promedio según el área, y con un “1” la ejecución de las tareas según su frecuencia dentro de las 52 semanas del año. Se establecen totales de hora por semana y totales de tiempo por actividad.

	Área 900				Área 920				Área 940				Área 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		A	B	C	D
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						288
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							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	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				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	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							284
44	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								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				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	1	1	1	1	291
52	1	1			1	1			1				1				1				1				1								238
587	28	53	17	1580	436	231	35	3289	779	434	110	1682	299	230	43	2185	449	229	49	631	174	124	8,6	543	149	91	16					14478	
				684,0				2281,4				4612,1				2253,9				2910,8				937,5									798,3

Figura 3.5-1: Tabla de resumen de Plan de Mantenimiento
Fuente: Elaboración de Masterplan

En resumidas cuentas, dentro de los procesos fundamentales que han sido llevados a cabo para lograr el objetivo final priman la jerarquización de activos, lo que ha permitido gestionar la forma en que se abordan los equipos según las criticidades de cada sistema priorizando la recepción de información técnica de éstos para gestionar las tareas de mantenimiento que han de realizarse. Siguiendo esta línea, con el proceso de elaboración de pautas en curso se aclaran y definen precisamente la frecuencia, requerimientos y los diferentes tipos de intervenciones de mantenimiento, estandarizando grupos de actividades en las cuales recaerán las tareas que se ejecutarán por cada activo, permitiendo así, definir rangos de tiempos de ejecución necesarios.

El Plan de Mantenimiento considera aquellos procesos previos de análisis y apoyo en documentación técnica para organizar la ejecución de actividades, distribuir eficientemente el trabajo en cuanto a las HH disponibles y las requeridas para poder garantizar la mayor disponibilidad de los equipos en el tiempo. De esta forma, la integración entre el proceso de jerarquización de activos y la elaboración de pautas contribuye a la adecuada gestión de este Masterplan, permitiendo conseguir una debida confiabilidad del sistema y optimización de los costos operacionales durante la prueba piloto.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el vasto mundo de la ingeniería, distintos procesos industriales y en particular en el área de la minería, la aplicación de una buena gestión en términos de control de procesos, personal, suministro, información, mantenimiento, entre otras, es una de las claves que permitirán conseguir el mayor provecho de los activos y utilidades inherentes. La base para lograr que todos estos conceptos logren el mayor nivel de cohesión y eficiencia es implementar las herramientas que se tienen a disposición dependiendo de la etapa de los diferentes proyectos, y eso es lo que ha sido aplicado en el presente caso, donde se ha efectuado un análisis sobre las técnicas y pasos en la elaboración de pautas de mantenimiento las cuales serán la guía para comenzar a dar forma a lo que será el plan maestro que se empleará en la planta que ha sido abordada en el presente documento.

Durante el desarrollo se han abordado las distintas fases desde lo micro hasta lo macro para finalmente lograr estructurar estas pautas de mantenimiento tomando como ejemplo un equipo intercambiador de calor de placas inmerso dentro de un sistema de suministro y tratado de Ácido Nítrico, el cual figura como sistema crítico dentro de todo el proceso productivo ya que es uno de los agentes primordiales para llevar a cabo el proceso de Biolixiviación. Independientemente del sistema abordado en este documento, todo el proceso que se ha efectuado tiene la finalidad de establecer un plan de mantenimiento integral en la totalidad de la planta piloto durante su proceso de extracción de mineral de cobre por medio de la tecnología NitroBio, profundizando en las metodologías que se han adoptado en cada una de las etapas necesarias para su diseño.

A lo largo del proceso ejecutado de la mano de la asesora de ingeniería, se establecieron criterios fundamentales para la estructuración de las pautas y planificación del mantenimiento, con un enfoque preventivo que busca garantizar la disponibilidad y confiabilidad de los activos involucrados en el proceso. Lo que ha sido implementado durante el proceso, desde la jerarquización de equipos abordando los estándares y políticas que la empresa minera posee internamente, la generación de pautas de mantenimiento y la estructuración del Masterplan velan por un mismo objetivo final, que es contar con una estrategia efectiva para la gestión de mantenimiento a nivel de esta planta según su contexto operacional.

Dentro de los aspectos clave abordados en este proceso, la relación entre la jerarquización de los activos y la definición de pautas de mantenimiento es fundamental ya que la clasificación de equipos según su criticidad permite establecer prioridades en la programación y rigurosidad de las actividades, gestionando de tal forma que se logren enfocar los esfuerzos en aquellos activos cuyo funcionamiento impacte de manera significativa en la continuidad operativa de la planta, considerando aspectos como la redundancia (Stand-By) tanto de los equipos como de ciertas líneas y la disponibilidad de activos en bodega (Spare) para el reemplazo en caso de alguna falla imprevista durante las 52 semanas mínimas de ejecución de la prueba. De esta manera, se han definido

procedimientos específicos para cada equipo, asegurando la correcta aplicación de técnicas de mantenimiento preventivo como inspección visual, limpieza superficial, análisis termográfico, lubricación, calibración de instrumentos y otras actividades para garantizar que los activos se desempeñen dentro de los parámetros operacionales previstos en la información técnica proporcionada. Las pautas se desarrollan en torno a la información técnica del activo y sus prestaciones, permitiendo estructurar el documento considerando aspectos técnicos, documentación relacionada, repuestos e insumos, dotación base de personal, actividades específicas y un Checklist que permitirá llevar un registro de las tareas de mantenimiento efectuadas según su frecuencia de ejecución.

El principal objetivo de realizar las pautas de mantenimiento de la planta en su totalidad es el requerimiento de un Masterplan que permita organizar las actividades de mantenimiento en el horizonte de 52 semanas mencionado previamente. La definición de los 6 tipos de actividades permiten realizar una aproximación del tiempo que cada una pueda requerir para su ejecución y comparar aquella información con los diferentes escenarios de dotación de personal ha permitido estimar de manera precisa la carga de trabajo semanal, que busca asegurar una distribución eficiente de los recursos disponibles. Además de la planificación operativa en función del tiempo por cada actividad, la elaboración del Masterplan de mantenimiento también otorga una visualización de la carga de trabajo mediante herramientas gráficas y tablas que reflejan la distribución de tareas a lo largo del tiempo. Esta representación estructurada permite que, durante su aplicación, los responsables del mantenimiento puedan tomar decisiones informadas ajustando el cronograma según las necesidades de la planta y optimizando el uso de los recursos disponibles.

Finalmente, dentro de las recomendaciones que pueden efectuarse con todo el proceso implementado, el abordar ciertos aspectos no considerados bajo las políticas y el contexto de esta prueba piloto pueden servir a un mayor control de los procesos, pudiendo ser:

- Llevar un registro detallado de 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 promoviendo la formación continua y actualizaciones para asegurar que están al día con las mejores prácticas, reducir el tiempo de ejecución y mejorar la eficacia de las tareas.
- 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.
- Crear un documento específico para registrar las actividades de mantenimiento que no se hayan realizado en el periodo planificado, el cual deberá ser revisado de forma periódica e incluir información relevante como descripción de la tareas, criticidad en la operación, fechas programadas originalmente, motivos del aplazamiento y nuevas fechas tentativas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). (2016). Industrias de petróleo, petroquímica y gas natural: Recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos (ISO 14224:2016). ISO. <https://www.iso.org/standard/64076.html>

- SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS (SAE). (1999). Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes (SAE JA1011). SAE International. <https://www.sae.org>

- SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS (SAE). (2002). A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard (SAE JA1012). SAE International. <https://www.sae.org>

- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN (UNE). (2014). Sistemas de gestión de la energía: Requisitos y guía para su aplicación (UNE 16646:2014). UNE. <https://www.une.org/>