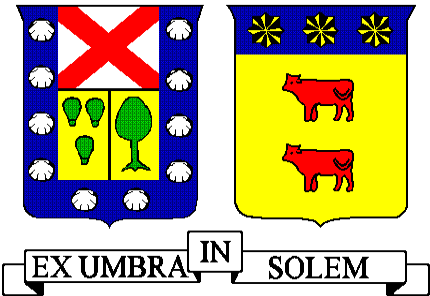


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR



OPTIMIZACIÓN DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE LOS ACTIVOS DE
LA PLANTA DE ÁCIDO SULFÚRICO

Trabajo de Titulación para optar al Título de
Ingeniero en Mantenimiento Industrial

Alumno: Yuri Seguel

Profesor Guía: Carlos Parra

RESUMEN

KEYWORDS: OPTIMIZACIÓN GESTION DE MANTENIMIENTO DE ACTIVOS DE ÁCIDO SULFÚRICO PARA CUMPLIMIENTO DS 43, CONTROLES CRÍTICOS Y CONTINUIDAD OPERACIONAL.

El presente trabajo de título tiene como objetivo la optimización de la gestión del mantenimiento de la planta de ácido sulfúrico, con el fin de dar cumplimiento al Decreto Supremo (DS) 43. Esto tomando en cuenta los controles críticos y la continuidad operacional de la planta concentradora de molibdeno.

Para esto, se determinan los programas de mantención adecuados que sean capaces de resolver los problemas operacionales, de seguridad y medioambiente. El plan de mantenimiento propuesto debe además cumplir con los procedimientos de sustancias peligrosas.

Los programas propuestos, incorporan la mejor opción de mantenimiento de tipo preventivo para el funcionamiento, y operatividad de la planta.

Además de sugerir una estrategia de mantenimiento, se debe definir y seguir un modelo de criticidad, para la implementación de mejoras en el sistema de control.

Para lo anterior, la metodología FMECA (Failure modes, effects, and criticality analysis) es utilizada.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....1

ÍNDICE DE TABLAS 2

INTRODUCCIÓN 1

OBJETIVOS 2

 OBJETIVO GENERAL 2

 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 2

CAPÍTULO 1. ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN DEL CONTEXTO OPERACIONAL 3

 1.1 RESEÑA DE LA EMPRESA 3

 1.1.1 COMPAÑÍA MINERA.....3

 1.1.2 LA DIVISION.....3

 1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO 3

 1.2.1 Extracción del mineral 3

 1.2.2 Chancado 4

 1.2.3 Molienda 4

 1.2.4 Transporte de Pulpa (STP) 4

 1.2.5 Espesamiento.....5

 1.2.6 Flotación cobre.....5

 1.2.7 Flotación de molibdeno.....5

 1.2.8 Planta de ácido. 5

 1.3 CASO DE ESTUDIO 5

 1.4 CONTEXTO OPERACIONAL 6

 1.4.1 Acondicionamiento. 6

 1.4.2 Celdas de flotación 6

 1.4.3 Celda columnar 6

 1.4.4 Filtrado secado de molibdeno (FISEMO) 7

 1.5 NORMATIVAS LEGALES (DS43).....8

 1.5.1 Disposiciones generales 8

1.6 DISEÑO PLANTA DE ÁCIDO.....11

1.6.1 Descripción planta de ácido 11

1.6.2 Estanque de almacenamiento de ácido TKS 015. 11

1.6.3 Estanque diario de ácido TKS 016.....11

1.6.4 Bombas dosificadoras de ácido.....11

CAPÍTULO 2 ANÁLISIS DEL MODO, EFECTO Y CRITICIDAD DE LA FALLA 13

2.1 METODOLOGÍA 14

2.1.1 Definición de la intención de diseño 15

2.1.2 Análisis funcional.....15

2.1.3 Identificación de Modos de falla.....15

2.1.4 Efectos y consecuencias de la falla 15

2.1.5 Clasificación de categorías de consecuencia de fallas 16

2.1.6 Jerarquización del riesgo.....17

2.2 Definición de optimizaciones de planes de mantenimiento. 19

2.2.1 Mantenimiento preventivo. 19

2.2.2 Mantenimiento correctivo. 20

2.2.3 Mantenimiento predictivo. 21

CAPÍTULO 3 APLICACIÓN CASO DE ESTUDIO PLANTA DE ÁCIDO MEDIANTE EL
DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA FMECA 23

3.1 Definición de la intención del diseño 23

3.2 Análisis funcional.....23

3.3 Identificación de modos de falla 24

3.4 Efectos y consecuencias de las fallas 25

3.5 Jerarquización del riesgo 25

CAPÍTULO 4 PROPOSICIÓN DE MEJORAS EN PLAN DE MANTENIMIENTO 28

4.1 Modos de falla 28

4.1.1 Modo falla 1211 Rotura de línea Sección Almacenamiento ácido sulfúrico. 28

4.1.2 Modo falla 2211 Rotura de línea sección Dosificación ácido sulfúrico 28

4.1.3 Modo falla 1212 Rotura en estanque Sección Almacenamiento ácido sulfúrico
.....29

4.1.4 Modo falla 2212 Rotura en estanque sección Dosificación ácido sulfúrico ..29

4.1.5 Modo falla 1112 Obstrucción en línea Sección Almacenamiento ácido sulfúrico.....	29
4.1.6 Modo falla 1213 Rotura en contención Sección Almacenamiento ácido sulfúrico.....	30
4.1.7 Modo falla 2111 Falla en bombas dosificador sección Dosificación ácido sulfúrico.....	30
4.1.8 Modo falla 2213 Rotura en contención sección Dosificación ácido sulfúrico	30
4.4 Indicadores de resultados	31
4.4.1 Indicador principal.	31
4.4.2 Análisis de Costos	34
CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES.....	35
BIBLIOGRAFÍA.....	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- 1 Cantera del proceso extractivo de mineral (Fuente: [1]). 4

Figura 1- 2 Diagrama del proceso: etapa de espesador mixto y flotación (Fuente: Diagrama de HMI SCD IA Foxboro planta). 7

Figura 1- 3 Diagrama de proceso del FISEMO (Fuente: Diagrama de HMI SCD IA Foxboro planta). 8

Figura 1- 4 Diagrama bombas dosificadoras de ácido (Fuente: Diagrama de HMI SCD IA Foxboro planta). 12

Figura 2- 1 Proceso de gestión del mantenimiento aplicando FMECA(Fuente: [4]). 14

Figura 2- 2 Diagrama de la metodología de análisis de modos de falla y sus efectos(Fuente: [4]). 15

Figura 2- 3 Zonas de Fallo Potencial y Fallo Funcional (Fuente: [5]). 16

Figura 2- 4 Nomenclatura pauta de mantenimiento (Fuente: Formato de documento oficial procedimiento compañía minera). 21

Figura 2- 5 Ejemplo pauta de mantenimiento (Fuente: Formato de documento oficial procedimiento compañía minera). 22

Figura 3- 1 Histograma de riesgo para los modos de falla identificados y evaluados (Fuente: Elaboración propia). 26

Figura 3- 2 Matriz de riesgo (Fuente: Elaboración propia). 27

Figura 4- 1 Tabla de resumen planta molibdeno (Fuente: Sistema de gestión de mantenimiento). 32

Figura 4- 2 Grafico de detenciones de la planta de molibdeno(Fuente: Sistema de gestión de mantenimiento). 33

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2- 1 Criterios para la calificación de las categorías de consecuencia (Fuente: Elaboración propia). 17

Tabla 2- 2 Valores a evaluar (Fuente: Elaboración propia). 17

Tabla 2- 3 Jerarquización del riesgo de los diferentes modos de falla (Fuente: Elaboración propia). 18

Tabla 2- 4 Matriz de riesgo empleada para la jerarquización de los modos de falla (Fuente: [4]). 19

Tabla 3- 1 Modo de falla de sección de almacenamiento de ácido (Fuente: Elaboración propia).24

Tabla 3- 2 Modo de falla de sección de dosificación de ácido sulfúrico (Fuente: Elaboración propia). 24

Tabla 3- 3 Tabla de definición de modo, efecto y consecuencia de la falla (Fuente: Elaboración propia). 25

Tabla 3- 4 Calificación de frecuencia por consecuencia y su jerarquización (Fuente: Elaboración propia). 26

Tabla 4- 1 Programa de mantenimiento propuesto rotura de línea sección almacenamiento ácido sulfúrico (Fuente: Elaboración propia). 28

Tabla 4- 2 Programa de mantenimiento propuesto rotura de línea sección dosificación ácido sulfúrico (Fuente: Elaboración propia). 29

Tabla 4- 3 Programa de mantenimiento propuesto rotura de estanque sección almacenamiento ácido sulfúrico (Fuente: Elaboración propia). 29

Tabla 4- 4 Programa de mantenimiento propuesto rotura de estanque sección dosificación ácido sulfúrico (Fuente: Elaboración propia). 29

Tabla 4- 5 Programa de mantenimiento propuesto obstrucción de línea sección almacenamiento ácido sulfúrico (Fuente: Elaboración propia). 30

Tabla 4- 6 Programa de mantenimiento propuesto rotura de contención sección almacenamiento ácido sulfúrico (Fuente: Elaboración propia). 30

Tabla 4- 7 Programa de mantenimiento propuesto Falla en bomba sección dosificación ácido sulfúrico (Fuente: Elaboración propia). 30

Tabla 4- 8 Programa de mantenimiento propuesto rotura en contención sección dosificación ácido sulfúrico (Fuente: Elaboración propia). 30

Tabla 4- 9 Ingreso esperado por mayor disponibilidad (Fuente: Elaboración propia). 33

Tabla 4- 10 Tabla de costos detallada por actividad de mantenimiento propuesta (Fuente: Elaboración propia). 34

INTRODUCCIÓN

La extracción de materias primas, particularmente el cobre y la explotación de uno de sus subproductos, el molibdeno, es una de las principales actividades productivas del país. Para llevar a cabo la explotación de estos productos, se debe hacer uso de sustancias denominadas peligrosas, según el Decreto Supremo 43 del ministerio de salud, particularmente, el ácido sulfúrico. Este compuesto es clave para realizar el control de PH en el proceso de flotación del cobre y molibdeno. El control del PH, sirve para neutralizar los reactivos utilizados en la planta de cobre y conseguir una mejor recuperación del mineral. Esto se traduce en un mayor rendimiento económico del proceso.

Uno de los controles críticos necesarios en la operación de la planta de molibdeno, es el control de derrame de ácido sulfúrico durante el trasvasije y/o almacenamiento. Para lograr esto, se requiere la optimización de la gestión del mantenimiento de la planta de ácido, que tiene como objetivo, procurar el buen funcionamiento del control en los procesos de almacenaje, trasvasije y dosificación de ácido sulfúrico, en las celdas de flotación y acondicionadores de la planta de molibdeno.

Tomando lo anterior en consideración, en este trabajo, se realizará un estudio para optimizar la gestión de la mantención y la implementación de mejoras, con el fin de asegurar una operación segura para las personas y el medio ambiente, manteniendo continuidad en la producción.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Aplicar la metodología de Análisis de Modos, Efectos de Fallas y Criticidad (FMECA), en la planta ácido sulfúrico, para aumentar disponibilidad de planta molibdeno y cumplir con los requerimientos del Decreto Supremo 43.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Revisar y actualizar el contexto operacional de los sistemas y equipos, que componen la planta de ácido sulfúrico.
- Desarrollar un procedimiento para aplicar la metodología de Análisis de Criticidad, basada en riesgo y determinar los equipos más importantes de la planta de ácido sulfúrico.
- Aplicar la metodología de FMECA y proponer mejoras en el plan de mantenimiento del sistema crítico analizado, enfocados en el cumplimiento de los requerimientos, del Decreto Supremo 43.
- Definir los indicadores que permitan cuantificar y evaluar los recursos técnicos y económicos, de la implementación de las recomendaciones generadas, a partir del FMECA.

CAPÍTULO 1. ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN DEL CONTEXTO OPERACIONAL

1.1 RESEÑA DE LA EMPRESA

1.1.1 COMPAÑÍA MINERA

La Empresa en cuestión, es una compañía global con sede en Londres, Reino Unido [1]. Es un gran productor de diamantes, arsénico, mercurio, plomo, cobre, hierro mineral, carbón térmico y metalúrgico, y el mayor productor mundial de platino, con alrededor del 40 % de la producción mundial.

1.1.2 LA DIVISION

En particular, este trabajo, se centra en una división de la empresa minera, que posee una planta a cielo abierto, ubicada en la zona cordillerana de la Región Metropolitana de Chile. La planta en cuestión produce cobre y molibdeno. Comenzó su exploración a finales del siglo pasado.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

1.2.1 Extracción del mineral

La operación de extracción del mineral de cobre y sus subproductos, se inicia con la explotación en la mina. Para ello, se emplean medios mecánicos o explosivos, para remover los terrenos que recubren o rodean la formación geológica que forma al yacimiento, o banco de materiales. El material estéril sin valor económico es descartado y enviado a los depósitos de estéril, mientras que la porción de interés es transportada en camiones de alto tonelaje hasta el chancador primario.



Figura 1- 1 Cantera del proceso extractivo de mineral (Fuente: [1]).

1.2.2 Chancado

Como se menciona en el punto anterior, el mineral de interés extraído se transporta hacia el Chancador primario, el cual se encarga de moler el mineral y alimentar el proceso de molienda a través de correas transportadoras. El principal objetivo del Chancado es disminuir el tamaño de los fragmentos de roca mineralizada a un diámetro de aproximadamente media pulgada.

1.2.3 Molienda

El mineral que, proviene desde el acopio de mineral grueso de cada planta, ingresa a un circuito de Molienda formado por Molinos semiautógenos (SAG), de bolas y Chancado de Pebbles, cuyo objetivo es reducir aún más el tamaño del material, y formar una pulpa de mineral mediante la adición de agua. El circuito inicia en el molino SAG, cuya descarga alimenta a un harnero que clasifica las partículas por tamaño. El producto grueso, se envía a la planta de chancado de Pebbles y luego se recircula al proceso. El producto fino del SAG, se envía a la molienda secundaria (molinos de bolas) que opera en circuito cerrado con baterías de ciclones. A su vez el producto de los ciclones se envía a harneros utilizados como medida de protección del sistema de Transporte de Pulpa hacia las plantas concentradoras.

El resultado de este proceso es enviado a través del sistema de transporte de pulpa (STP) hacia la planta concentradora.

1.2.4 Transporte de Pulpa (STP)

El Sistema de transporte de pulpa (STP) es el proceso mediante el cual la pulpa de cobre es transportada desde la molienda hacia la planta concentradora, para este proceso, se utiliza la diferencia de cota, por lo que no se utilizan bombas, debiendo disipar la energía en estaciones disipadoras.

1.2.5 Espesamiento

Con el objetivo de aumentar la densidad de la pulpa, se emplean espesadores los cuales retiran el agua a la pulpa de cobre. Esta pulpa es transportada por el mineroducto hacia la planta concentradora para continuar con el proceso.

1.2.6 Flotación cobre

La flotación es un proceso mediante el cual se procesan los materiales de cobre, utilizando un proceso físico químico de tensión superficial en el que se separan los minerales sulfurados de los otros materiales que componen la roca. Este proceso se alimenta desde el sistema de transporte de pulpa y utiliza celdas de flotación abiertas que, a partir de variados sistemas de control, equipos (tales como agitadores, válvulas de control de dilución, bombas de reactivos) y procesos (tales como molinos de remolienda, celdas columnares, bombas de alimentación) obtiene el concentrado de cobre. Este concentrado contiene porciones de molibdeno, el cual debe ser separado del cobre obtener beneficio económico.

1.2.7 Flotación de molibdeno.

La flotación de molibdeno es un proceso mediante el cual se separa el concentrado de cobre del concentrado de molibdeno. Este se produce en celdas de flotación selladas, a las cuales se adicionan reactivos tales como sulfhidrato de sodio (NASH), cuya función es depresar el cobre, y ácido sulfúrico (H_2SO_4), que tiene como función disminuir el PH en la celda de flotación lo cual facilita la flotación del molibdeno.

Al mezclarse ácido sulfúrico y sulfhidrato de sodio se forma un compuesto químico llamado sulfuro de hidrogeno, conocido como gas sulfhídrico (H_2S). Este es un gas altamente venenoso e inflamable, cuya exposición a 600 ppm provoca la muerte instantánea.

1.2.8 Planta de ácido.

En la planta de proceso a evaluar en este trabajo existen 2 plantas de almacenamiento de ácido sulfúrico. Estas plantas, tienen como propósito almacenar, trasvasiar y dosificar el ácido en distintos puntos de las plantas de flotación utilizando para aquello estanques, bombas y líneas distribuidas en toda la planta.

1.3 CASO DE ESTUDIO

En este trabajo se plantea optimizar el mantenimiento en una planta concentradora de molibdeno, la cual para su proceso requiere almacenar, trasvasiar y dosificar ácido sulfúrico.

El funcionamiento la planta de ácido se definió como una actividad crítica para la seguridad, salud, medioambiente y continuidad del proceso. Por lo tanto, es necesario analizar y mejorar el funcionamiento de esta sección de la planta concentradora. En particular, para lograr el

objetivo de mejorar el desempeño de la planta de ácido, se debe analizar el estado actual de las bombas de trasvasije, bombas dosificadoras, estanques (de distribución y almacenamiento) y líneas de distribución que participan de este proceso. En la actualidad, los componentes de la planta anteriormente mencionados presentan detenciones por fuga del producto en válvulas, fittings y líneas, además de daño en las bases de las bombas. Esto, pone en riesgo la continuidad operacional, la seguridad y el medio ambiente. El tiempo medio de utilización de la planta es de 6929 [h], y se desea apuntar a un funcionamiento más cercano al horizonte de operación anual de 8373 [h]

1.4 CONTEXTO OPERACIONAL

Una Planta concentradora de molibdeno tendrá definida su capacidad de procesamiento en base a la ley de alimentación, recuperación metalúrgica, tonelaje de alimentación y continuidad operacional.

1.4.1 Acondicionamiento.

Así como lo indica la Figura 1-2, el proceso de recolección flotación de molibdeno comienza en el espesador mixto, el cual contiene cobre y molibdeno. El material es impulsado por una bomba desde el cono del espesador hacia el acondicionador número 1. Este acondicionador se le adiciona petróleo y ácido sulfúrico, a través de un agitador se acondiciona la pulpa y a través de una bomba se alimentan las celdas de flotación diferencial.

1.4.2 Celdas de flotación

El circuito de flotación comienza con 4 celdas selladas. Cada una de las celdas posee agitadores. En este circuito de flotación, se realiza control de PH y ORP a través de la adición de ácido y Nash. Además, existe control de nivel a través de sensores de tipo magneto restrictivos. Como elemento final de control se utilizan válvulas tipo dardo. La siguiente etapa consiste en celdas de flotación de primera limpieza, la cual posee una celda sellada con 3 agitadores. Para su operación, se realiza control de PH y ORP a través de bombas dosificadoras de ácido y Nash. Este sistema de control es similar a las celdas de flotación diferencial. Finalmente, como tercera etapa está la flotación scavenger, que es una celda sellada con tres agitadores en las que solo se mide el ORP. y no existe adición de reactivos. El sistema de control es similar a lo ya descrito.

1.4.3 Celda columnar

Luego de las celdas de flotación, se encuentra una celda columnar que es alimentada a través de una bomba de alimentación. Para el control de nivel, se cuenta con una válvula pinch y un sensor de tipo dpcell. Además, posee indicación sensores de PH y ORP que únicamente sirven como indicación, y no para control, ya que en esta etapa no se adicionan reactivos, solo agua para limpieza y aire para generar burbujas.

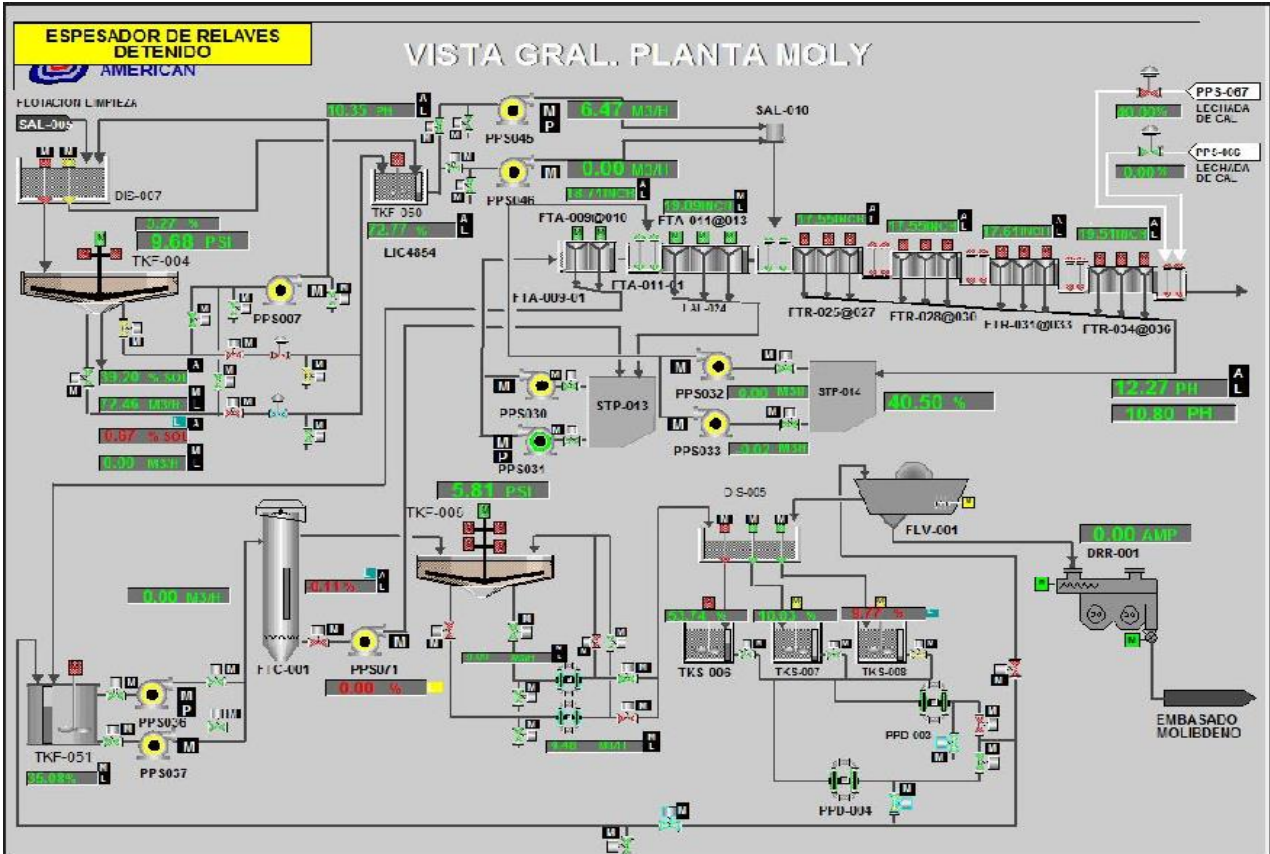


Figura 1- 2 Diagrama del proceso: etapa de espesador mixto y flotación (Fuente: Diagrama de HMI SCD IA Foxboro planta).

1.4.4 Filtrado secado de molibdeno (FISEMO)

Esta es la última etapa del proceso, el concentrado producido es enviado a un espesador de molibdeno, desde el cual se envía a los estanques de almacenamiento, TK06, TK 07, TK 08. Desde estos estanques se alimenta la etapa de FISEMO que se muestra en la figura1-3

Esta etapa consiste en un filtro de disco con una bomba de vacío y un calefactor que, a través de circulación de aceite, logra obtener molibdeno seco con un 10 % de humedad. Este molibdeno seco se envasa en maxi sacos de 1000 kilos, los cuales son almacenados en la cancha de molibdeno para luego ser despachados.

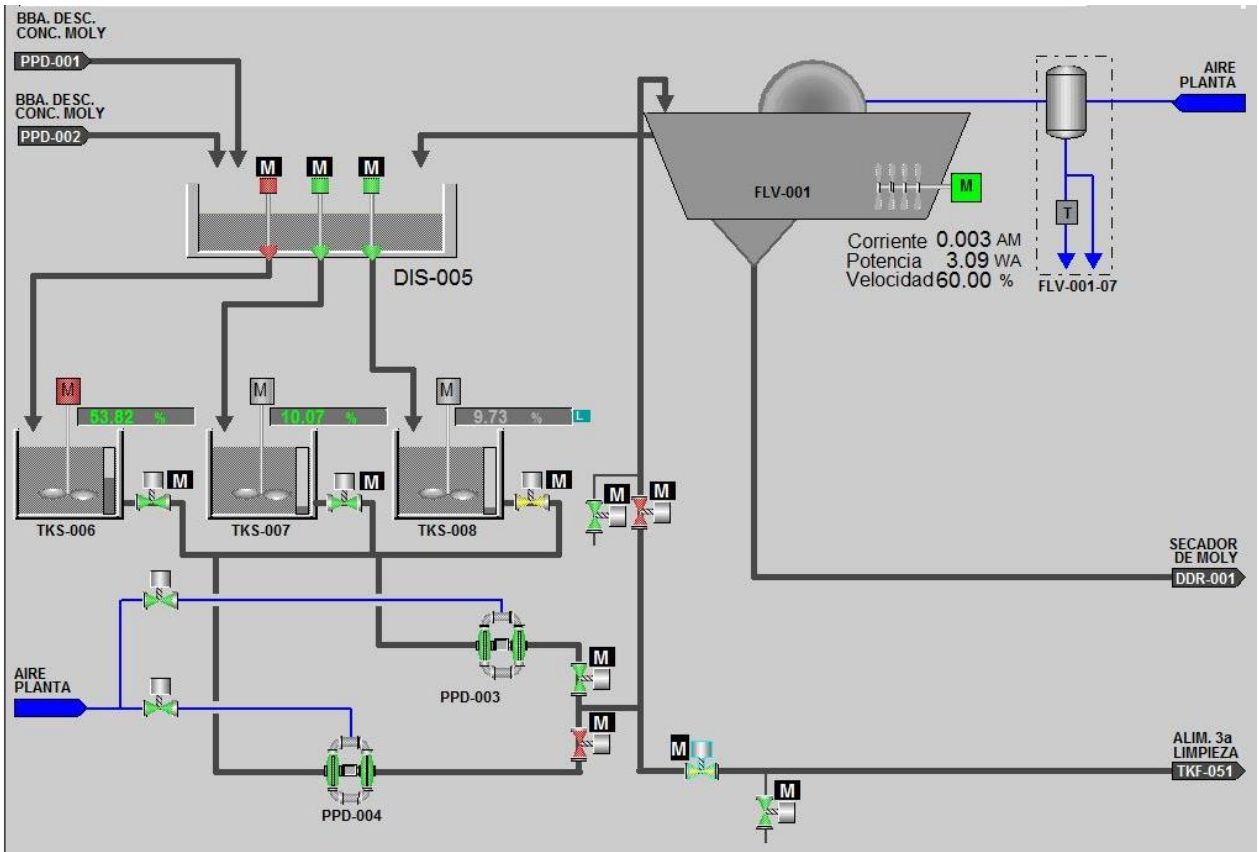


Figura 1- 3 Diagrama de proceso del FISEMO (Fuente: Diagrama de HMI SCD IA Foxboro planta).

1.5 NORMATIVAS LEGALES (DS43)

El Decreto Supremo 43 [2], establece las normas que regulan las condiciones básicas de seguridad en que deben mantenerse las sustancias peligrosas, de manera de evitar riesgo en la salud de la población. En esta sección se presentan los aspectos más importantes de la normativa.

1.5.1 Disposiciones generales

Artículo 1

El presente reglamento establece las condiciones de seguridad de las instalaciones de almacenamiento de sustancias peligrosas

Artículo 2

Se entenderá por sustancia o productos peligrosos, para efectos de la aplicación de este reglamento, aquellas que puedan representar un riesgo para la salud, la seguridad o el bienestar de los seres humanos y animales, siendo aquellas clasificadas en la norma chilena N° 382:2013.

Substancia peligros -Clasificación

- Clase 1, sustancias explosivas
- Clase 2, gases

- Clase 3, líquidos inflamables
- Clase 4, sólidos inflamables, sustancias que pueden experimentar combustión instantánea, sustancia que, en contacto con agua, desprenden gases inflamables.
- Clase 5, sustancias comburentes y peróxidos orgánicos.
- Clase 6, sustancias tóxicas y sustancias infecciosas.
- Clase 7, sustancias reactivas.
- Clase 8, sustancias corrosivas.
- Clase 9, sustancias y objetos peligrosos varios, incluidas las peligrosas para el medio ambiente.

Artículo 4

Para efectos del presente reglamento, los términos que a continuación se definen tendrán el significado que para cada uno se señala:

b) Análisis de Consecuencia: Evaluación cuantitativa de variables físicas, tales como radiación térmica, sobrepresión, concentración de contaminantes representativos de diferentes tipos de accidentes y sus posibles efectos sobre las personas, medio ambiente y bienes, con el fin de estimar la naturaleza y magnitud del daño.

c) Área de producción: Lugar o lugares físicos delimitados por el titular de almacenamiento, donde ocurren los procesos de transformación química o física que pueden incluir envasado, trasvasije, etc., conforme al diseño funcional del modelo de proceso productivo y a los modelos de producción, pudiendo incluir los sectores destinados a la liberación del producto terminado, antes de que quede en calidad comercial. Estas áreas pueden comprender todos aquellos edificios, construcciones, obras, espacios abiertos, patios de maniobra, estructuras, equipos, maquinarias, estanques, instalaciones y elementos destinados a los propósitos anteriormente descritos.

e) Bodega para sustancias peligrosas: Recinto o instalación destinada al almacenamiento de sustancias peligrosas, donde puede haber más de una clase o división de estas últimas.

i) Envase: Recipiente que se usa para contener una sustancia, el cual está en contacto directo con ésta. En algunos casos el envase debe estar protegido por un embalaje para poder cumplir su función. Son envases, entre otros, los tambores, bolsas, cajas, bidones, cilindros, contenedores portátiles, sacos, cuñetes, estanques.

j) Estanque fijo: Recipiente diseñado específicamente para contener sustancias peligrosas de acuerdo con sus riesgos, estado de agregación (líquido o gas) y características particulares del lugar donde está emplazado y por ende no es susceptible de traslado en operación normal.

p) Instalación de almacenamiento: Se entenderá que son las bodegas, estanques, pilas a granel, áreas y patios de almacenamiento (contenedores, isotanques, cilindros), salvo aquellas instalaciones excluidas del ámbito de aplicación del presente reglamento.

t) NFPA: Norma Americana de protección contra el fuego.

u) Número NU: Número asignado a cada sustancia química por el sistema de Naciones Unidas.

v) OGUC: Ordenanza General de Urbanismo y Construcción, DS N.º 47 de 1992.

cc) Sustancia no combustible: Aquella sustancia que no se enciende ni alimenta la combustión bajo la acción del fuego o que no tiene calor de combustión.

ff) Zona industrial: Zona urbana en la que se permiten actividades industriales, talleres, bodegas u otras de equipamiento o infraestructura, sin permitir residencias o viviendas, de acuerdo con el respectivo plan regulador.

Artículo 5

Toda instalación de almacenamiento de sustancias peligrosas sobre 10 toneladas (t) de sustancias inflamables o 30 t de otras clases de sustancias peligrosas requerirá de Autorización Sanitaria para su funcionamiento. En el caso que en una misma planta exista más de una instalación de almacenamiento, el interesado podrá solicitar una autorización por cada una de ellas u optar por una autorización general que incluya todas las instalaciones.

Artículo 8

Las sustancias peligrosas solamente podrán almacenarse en los lugares especiales que se señalan a continuación en el presente reglamento, de acuerdo con su cantidad, clase y división de peligrosidad, según la NCh382:2013. Este almacenaje podrá siempre efectuarse en instalaciones de almacenamiento de mayor exigencia, pero en ningún caso en una de menor complejidad que las que les corresponda según estas disposiciones.

Artículo 9

Los envases de las sustancias deberán estar diseñados de forma que impidan las pérdidas de contenido; deben ser adecuados para su conservación, ser de un material químicamente compatible con la sustancia, de difícil ruptura y que minimice eventuales accidentes.

Artículo 11

Toda instalación de almacenamiento de sustancias peligrosas deberá tener acceso controlado. Habrá un responsable quien será el encargado de vigilar el acceso de personas y maquinarias y de llevar el registro de los productos que entran y salen. En el caso de las bodegas de sustancias peligrosas, no podrá haber oficina en su interior.

Artículo 12

Los procedimientos de operación de la instalación de almacenamiento de sustancias peligrosas deberán consignarse por escrito, estar en conocimiento de todo el personal asociado a ésta y estar disponible para la autoridad fiscalizadora.

Artículo 18

Estará prohibido fumar al interior de cualquier instalación donde se almacenen sustancias peligrosas, lo que deberá señalarse mediante letreros que indiquen "No fumar", en el acceso principal de la instalación y, en el caso de bodegas, al interior de esta, en lugares fácilmente visibles.

1.6 DISEÑO PLANTA DE ÁCIDO**1.6.1 Descripción planta de ácido**

La planta de ácido sulfúrico tiene como propósito de almacenar, trasvasiar y dosificar el ácido en distintos puntos de las plantas de flotación de molibdeno a través de estanques, bombas y líneas distribuidas en toda la planta.

1.6.2 Estanque de almacenamiento de ácido TKS 015.

El almacenamiento se produce en el estanque TKS 015, que tiene una capacidad de 70 m³. El estanque es alimentado por camiones, que entregan el producto a través de una bomba dispuesta en el camión. La medición de nivel se realiza a través de un sensor transmisor tipo radar, el cual no entra en contacto directo con el ácido. La descarga del estanque se realiza a través de 2 bombas centrifugas PPD 020 y PPD 021 (solo opera una, la otra es redundante), alimentando al estanque diario.

1.6.3 Estanque diario de ácido TKS 016.

La función principal del estanque diario de ácido TKS 016, que tiene capacidad de 6m³, es abastecer a las 4 bombas dosificadoras que se encuentran dispuestas en la sala de bombas dosificadoras. Éste se alimenta desde el estanque de almacenamiento. Su sistema de control de nivel esta dado por un sensor de nivel laser, y su descarga es a través de las bombas dosificadoras. La línea que va desde el estanque de almacenamiento al estanque diario es de fierro al carbón, soldado en todos sus puntos y enflanchado en las uniones de líneas.

1.6.4 Bombas dosificadoras de ácido.

Las bombas dosificadoras de ácido constituyen el elemento final de control de PH en la planta de molibdeno. En la sala de bombas dosificadora, encontramos 4 bombas marca Prominent. Estas abastecen a diferentes puntos de la planta. Los rangos y de dichas bombas son los siguientes: PPD 025: 0 a 3000cc/min, PPD 027: 0 a 1500 cc/ min, PPD 028: 0 a 3000 cc/ min y PPD 029: 0 a 3000 cc/min.

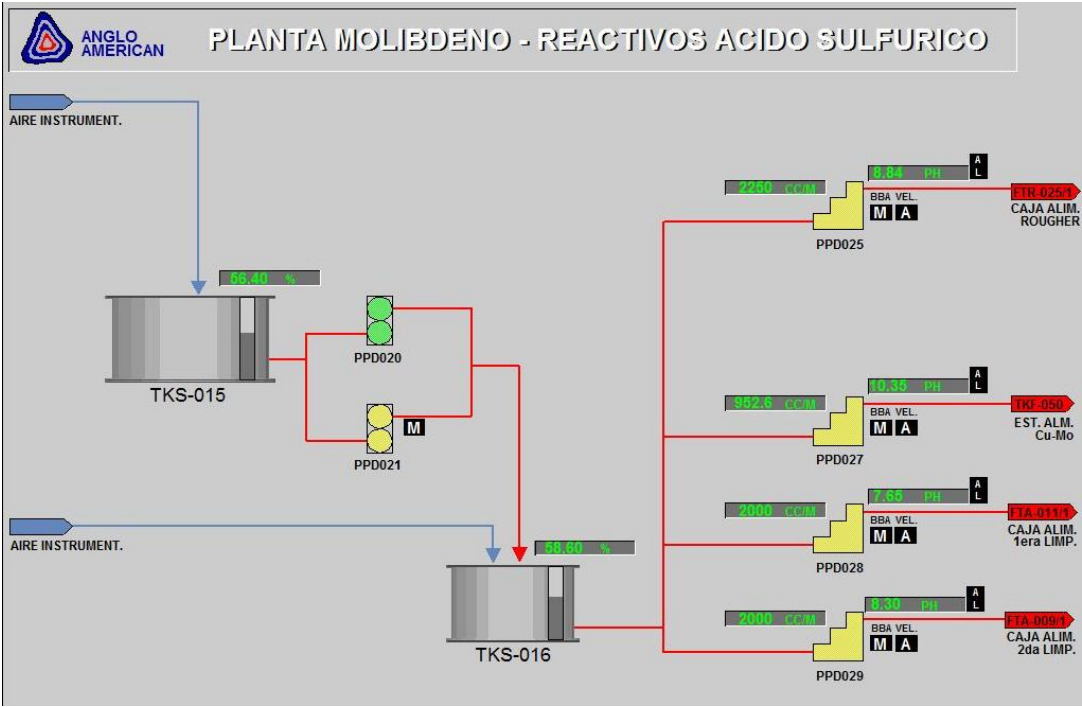


Figura 1- 4 Diagrama bombas dosificadoras de ácido (Fuente: Diagrama de HMI SCD IA Foxboro planta).

CAPÍTULO 2 ANÁLISIS DEL MODO, EFECTO Y CRITICIDAD DE LA FALLA

El FMECA (Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis -Análisis de Modos de Fallos, Efectos y su Criticidad) [3], es una herramienta del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM por sus siglas en ingles), que se basa en la categorización de los ítems mantenibles de un equipo. Se utiliza para identificar, y analizar todos los modos de fallos potenciales de las diferentes partes de un sistema y los efectos, que estos fallos, puedan tener en el sistema, así como también evitar los fallos y/o mitigar sus efectos. Este proceso permite detectar oportunidades de mejora en el mantenimiento de subsistemas y, cuantizar su impacto en el presupuesto. Esto hace al FMECA una herramienta de gran utilidad para la toma de decisiones.

Las técnicas de análisis de riesgo son empleadas en la búsqueda y evaluación de escenarios, que pueden representar un impacto adverso para una instalación o planta de proceso, identificando los escenarios de mayor riesgo, y emitiendo acciones de recomendación tendientes a minimizar el mismo. El principio de cualquier estudio de riesgo está basado en encontrar respuesta a tres interrogantes: 1) ¿Qué puede salir mal? 2) ¿Qué tan frecuente es? y 3) ¿Cuáles son sus efectos? Analizando y entendiendo la respuesta a estas preguntas, podemos entender los riesgos y diseñar mejores acciones para la prevención y control.

El Análisis de Modos de Falla y Efectos (FMEA, por sus siglas en inglés), en combinación con una calificación o jerarquización del grado de criticidad del riesgo, es normalmente empleada para la planeación del mantenimiento centrado en confiabilidad. Este, permite lograr un entendimiento global del sistema, así como del funcionamiento y la forma en la que pueden presentarse las fallas de los equipos que componen este sistema. Las acciones de recomendación derivadas de un FMECA o AMFEC, quedan definidas como acciones o tareas de mantenimiento.

El FMECA o AMFEC consiste en las siguientes etapas: Definición de la intención de diseño, análisis funcional, identificación de modos de falla, efectos de la falla, criticidad o jerarquización del riesgo y recomendaciones. Cabe mencionar que, en este trabajo, se pretende realizar el análisis de los modos de falla. Este punto es clave en todo el proceso. Para el caso de FMECA o AMFEC, la criticidad está referida al riesgo. Estas jerarquizan los modos de falla para identificar el grado de criticidad en base a los escenarios de mayor riesgo. La jerarquía es ordenada desde el riesgo más crítico al riesgo menos crítico.

2.1 METODOLOGÍA

Existen diferentes versiones o variantes de la metodología de Análisis de Modos de Falla y sus Efectos. La metodología aquí mostrada es aquella que ha sido empleada como fundamento para elaboración del plan de mantenimiento de la planta de ácido sulfúrico. Esta consiste en las siguientes actividades:

- 1. Definición de la intención de diseño
- 2. Análisis funcional
- 3. Identificación de modos de falla
- 4. Efectos y consecuencias de la falla
- 5. Jerarquización del riesgo

El diagrama metodológico del modelo de gestión del mantenimiento es mostrado en la Figura 2-1**Error! Reference source not found..** La metodología se desarrolló con referencia a lo establecido por las normas SAE JA-1011/1012 “Evaluation criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) processes / A guide to Reliability-Centered Maintenance (RCM) standard. De la misma Figura 2-1, se desprende el diagrama de bloques para la metodología de Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad (Mostrado en la Figura 2-2).

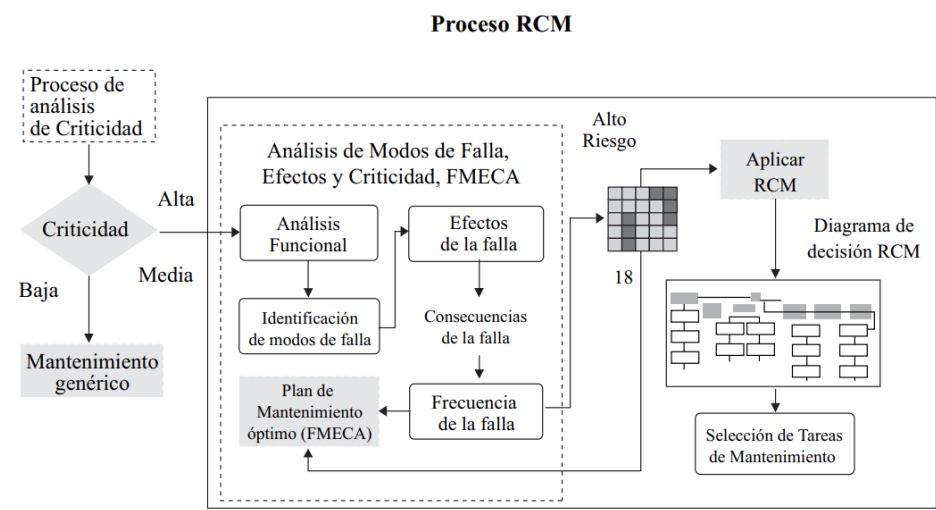


Figura 2- 1 Proceso de gestión del mantenimiento aplicando FMECA(Fuente: [4]).

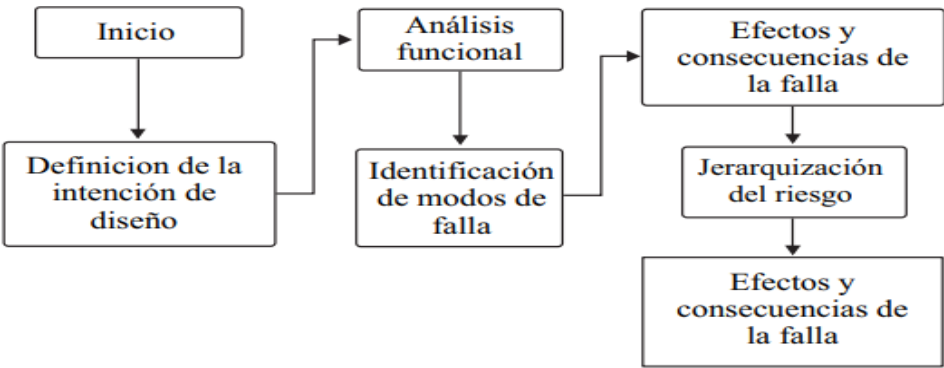


Figura 2- 2 Diagrama de la metodología de análisis de modos de falla y sus efectos(Fuente: [4]).

A continuación, se detallan cada uno de los bloques de la metodología FMECA.

2.1.1 Definición de la intención de diseño

Esta definición, consiste en conocer y entender la filosofía de operación de la planta o proceso, a fin de poder identificar claramente las condiciones bajo las cuales se opera, considerando tanto su diseño como las necesidades del usuario. La definición deberá de contener parámetros de operación, los equipos involucrados, rutas de proceso, parámetros de control, entre otros atributos. Para el análisis de modos de falla y sus efectos, AMFE (FMEA), la definición de la intención de diseño del sistema o equipo en análisis es altamente recomendable, ya que para poder entender la manera en la cual falla un activo, primero es necesario conocer cómo opera.

2.1.2 Análisis funcional

El análisis funcional es necesario para poder realizar el proceso de evaluación de los modos de falla, ya que se requiere conocer e identificar cuáles son aquellas funciones que el usuario espera, o desea, que su activo desempeñe. Se requiere identificar tanto la función principal como las secundarias.

2.1.3 Identificación de Modos de falla

Un modo de falla se puede definir como la forma en la que un activo, pierde la capacidad de desempeñar su función, o, en otras palabras, la forma en que un activo falla. A cada modo de falla le corresponde una acción de mitigación o prevención. Dentro del proceso de Administración del Riesgo, estas acciones pueden ser orientadas a realizar desviaciones del proceso, modificar factores humanos, u otros, o bien, como en este caso, donde el objetivo del FMECA es diseñar un plan de mantenimiento, a cada modo de falla le corresponderá una tarea de mantenimiento.

2.1.4 Efectos y consecuencias de la falla

Antes de abordar los efectos y consecuencia de la falla definiremos lo que entenderemos como falla.

FALLA: Es la incapacidad del activo de cumplir con su función, cualquiera sea esta. Además, se entiende como falla todos los estados indeseados del sistema o equipo. Existen dos tipos de falla:

Falla potencia: Es un evento donde se detecta una pequeña degradación (medible). A pesar de esta degradación se cumple con la función, es decir, no afecta el requerimiento de producción. Estos tipos de falla normalmente pasan desapercibidos por el personal de producción.

Falla funcional: Deja de cumplir con la función. Sin embargo, no necesariamente significa que el activo deja de producir. Aquí es importante definir los requerimientos de desempeño. La falla funcional es resultado de la incapacidad de los equipos para alcanzar el nivel de desempeño esperado. Son un síntoma o evento observable por el personal de producción y mantenimiento.

Retomando el ejemplo con el que se definió el paso 1 de Funciones, en la gráfica de abajo, denominado gráfico P-F, se muestran las zonas donde actúan tanto las fallas potenciales como las funcionales.

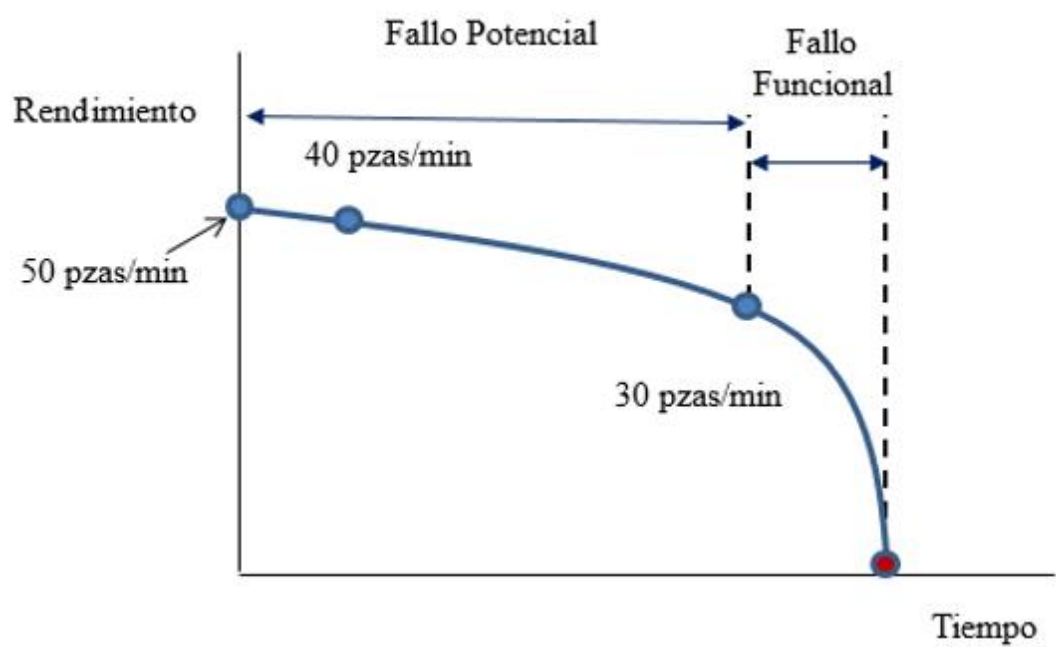


Figura 2- 3 Zonas de Fallo Potencial y Fallo Funcional (Fuente: [5]).

2.1.5 Clasificación de categorías de consecuencia de fallas

Los efectos de la falla son considerados como la forma en la que la falla se manifiesta, es decir, como se ve perturbado el sistema ante la falla del equipo o activo, ya sea local o en otra parte del sistema. Estas manifestaciones pueden ser: aumento / disminución de nivel, mayor / menor temperatura, activación de señales, alarmas o dispositivos de seguridad, entre otras; similarmente, se considera también la sintomatología de la falla, ruido, aumento de vibración u otros. Para el caso

de las consecuencias, éstas son referidas a los impactos derivados de la falla en los diversos receptores de interés. Se consideran las consecuencias que se tienen para la seguridad de las personas, el medio ambiente y la producción. Los criterios para la calificación de las categorías de consecuencia son mostrados en la Tabla 2-1.

Tabla 2- 1 Criterios para la calificación de las categorías de consecuencia (Fuente: Elaboración propia).

CATEGORÍA	MENOR C1	MODERADO C2	GRAVE C3	CATASTRÓFICO C4
PERSONAS				
Seguridad y salud	Sin lesión-Primeros auxilios	atención médica	Hospitalización	Fatalidad-Daños irreversibles
AMBIENTE				
Falla Derrame	Controlable	Informe autoridades	Contaminación gran volumen	Contaminación permanente
PRODUCCIÓN				
Perdida producción Daño instalaciones	Sin control PH-Baja recuperación	Detención Planta> 3 h	Detención Planta> 1 día	Detención Planta> 1 semana

Una vez identificados los criterios para la clasificación de las categorías de consecuencia, es necesario identificar cuáles son los efectos que provoca la ocurrencia de este modo de falla en el sistema. Con los efectos identificados, se deberán de evaluar las consecuencias de estos. Los efectos nos dan una referencia del comportamiento de la falla y de la forma en la que esta se manifiesta. En la Tabla a continuación se expresan los valores que se evaluaran.

Tabla 2- 2 Valores a evaluar (Fuente: Elaboración propia).

CONSECUENCIA FALLA	DESCRIPCIÓN
Nivel bajo estanque	Nivel menor al 30 % nivel
Derrame ácido sulfúrico	Perdida en contenido menor a 500cc
Sin control PH	Diferencia entre el valor medido y Set Point mayor a 0.3 puntos de PH

2.1.6 Jerarquización del riesgo

La jerarquización del riesgo para los diferentes modos de falla es el proceso resultante, de la combinación de la probabilidad de ocurrencia de un evento por su consecuencia. Este, nos permite identificar las áreas en la cuales podemos recomendar acciones de mantenimiento más eficaces, con el fin de gestionar las consecuencias de los eventos de falla evitando o reduciendo sus efectos [4].

Tabla 2- 3 Jerarquización del riesgo de los diferentes modos de falla (Fuente: Elaboración propia).

CATEGORIA	CUANTITATIVO	CUALITATIVO
ALTA	>1 en una semana	El evento se ha presentado puede presentarse en los próximos 7 días
MEDIA	1 en una semana a 1 en un mes	El evento se ha presentado o puede presentarse después de los próximos 7 días hasta un mes
BAJA	1 en un mes a 1 en un año	El evento se ha presentado o puede presentarse después del próximo mes hasta un año
REMOTA	<1 en un año	El evento puede presentarse después de un año

Para aplicar el proceso de selección de tareas de mantenimiento en mayor detalle, se requiere de los modos de falla resultantes, especialmente de aquellos críticos por su nivel de riesgo. Para ello se emplea el RCM. A los modos de falla resultantes de riesgo medio, se les debe aplicar la estrategia derivada del análisis de modos de falla y sus efectos, AMFE. Los modos de falla debajo riesgo, son elegibles para continuar aplicando las acciones que actualmente se realizan, dado que el riesgo a administrar es mínimo. La matriz de riesgo empleada para la jerarquización de los modos de falla es mostrada en la Tabla 2-4. Un tipo de matriz de riesgo que se representa visualmente como una tabla o una cuadrícula. Una matriz de riesgo de 4×4 tiene 4 categorías cada, una para la probabilidad, a lo largo del eje X, y el impacto, a lo largo del eje Y. Todos siguiendo una escala de bajo a alto, de izquierda a derecha, y desde abajo hacia arriba respectivamente. Esta metodología es utilizada como herramienta exhaustiva por las organizaciones durante la fase de evaluación de riesgos en la planificación de proyectos, la gestión de operaciones o el análisis de riesgos del puesto de trabajo.

Tabla 2- 4 Matriz de riesgo empleada para la jerarquización de los modos de falla (Fuente: [4]).

P R O B A B I L I D A D					
	ALTO-ALTO				
	MEDIO-MEDIO ALTO				
	BAJA-MEDIO				
	REMOTA-BAJO				
		MENOR	MODERADA	GRAVE	CATASTROFICA
		CONSECUENCIA			

2.2 Definición de optimizaciones de planes de mantenimiento.

La optimización de planes de mantenimiento es el proceso que tiene como misión, lograr los niveles establecidos de disponibilidad para las funciones de la instalación en su contexto operativo. Para lograrlo utiliza talentos humanos, recursos, activos, controles y mecanismos de gestión. Satisfaciendo los niveles de producción o servicios comprometidos por la organización, durante un determinado horizonte de tiempo, cumpliendo con los estándares de seguridad vigentes y sin incurrir en gastos que no contribuyan con el sostenimiento de las condiciones anteriores.

Dependiendo del trabajo a realizar, se pueden distinguir tres tipos de mantenimiento, estos son: preventivo, correctivo y predictivo.

2.2.1 Mantenimiento preventivo.

El mantenimiento preventivo consiste en la realización de labores de mantenimiento programadas periódicamente con el fin de evitar futuras anomalías e imprevistos [6].

En la Gerencia de mantenimiento de la empresa considerada en este trabajo, se definieron 3 tipos de mantención preventiva. Estos tres tipos de mantención preventiva son: inspecciones, mediciones y mantenciones (intervenciones).

Inspecciones (INSP): Existen varias técnicas y programas de inspección para detectar defectos y prevenir o predecir averías y fallos, pero ¿cómo identifico la presencia de un defecto, de

forma que se maximice el tiempo que tiene mi departamento de planificación para desarrollar de forma efectiva y eficaz, los procedimientos de trabajo, pedir las piezas y programar y completar el trabajo antes de que la probabilidad condicional de fallo sea demasiado alta?[7].

Las inspecciones sensoriales se han considerado durante mucho tiempo como la columna vertebral de cualquier programa de inspección adecuado. Se creía que enviar a alguien a inspeccionar los problemas de la maquinaria con la suficiente frecuencia, permitiría identificar los defectos con tiempo suficiente para mitigar eficazmente los tiempos de inactividad no planificados. El inspector utilizaría la vista, el sonido y el tacto para determinar si algo ha cambiado desde la última inspección. Cualquier cambio sería registrado, notificado e investigado por un mantenedor en la siguiente parada programada.

Aunque enviar a alguien a realizar inspecciones tiene muchas ventajas, esta estrategia tiene tantas serias deficiencias. Las inspecciones sensoriales normalmente sólo identifican los problemas más obvios y drásticos. Además, es poco frecuente que una inspección sensorial identifique los primeros defectos internos de las máquinas.

Mediciones (MED): Las inspecciones cuantitativas (mediciones), pueden proporcionar información útil cuando se trata de generar datos para establecer tendencias y determinar la vida característica de un modo de fallo. Entre las inspecciones cuantitativas más comunes, se encuentran la medición de la temperatura de una junta en una bomba o la medición de la holgura de la placa posterior en el impulsor de una bomba. Estas mediciones proporcionan datos al planificador y al ingeniero, y ayudan a determinar la necesidad de nuevas acciones de mantenimiento.

Cuando se diseña correctamente, un procedimiento de inspección cuantitativa detalla los límites y las mediciones típicas esperadas. Cualquier inspección que requiera medición, debe tener los valores mínimos, máximos y típicos, con tareas condicionales definidas en caso de que se superen los límites. En teoría, una inspección cuantitativa realizada con la frecuencia adecuada, rara vez tendrá una medición que supere los límites.

Mantenciones (Intervenciones) (MM): Las intervenciones que se realizan tienen como objetivo prevenir las averías y disminuir la probabilidad de que un activo falle. Es decir, se trata de un tipo de mantenimiento planificado, que se realiza incluso cuando un equipo mantiene su capacidad operativa. Estas intervenciones se realizan de acuerdo con un programa definido. Este programa de mantención puede, consistir en realizar el reemplazo de piezas desgastadas, reapriete de partes del sistema, reemplazo de elementos saturados (filtros), cambio de aceite o cualquier otra actividad que requiera detener el equipo.

2.2.2 Mantenimiento correctivo.

El mantenimiento correctivo es un tipo de mantenimiento realizado por los técnicos para corregir un mal funcionamiento de equipos, maquinarias y sistemas. Su objetivo, es restablecer el buen estado de funcionamiento y el nivel de rendimiento especificado de los activos de la empresa.

El mantenimiento correctivo se denomina a veces mantenimiento reactivo, porque se pone en marcha cuando ya se ha producido un fallo en la máquina [4].

2.2.3 Mantenimiento predictivo.

El mantenimiento predictivo son una serie de acciones que se toman, y técnicas que se aplican, con el objetivo de detectar posibles fallos y defectos de maquinaria en las etapas incipientes, para evitar que estos fallos se manifiesten en uno más grande durante su funcionamiento, evitando que ocasionen paros de emergencia y tiempos muertos, lo que causa impacto financiero negativo. Su misión, es conservar un nivel de servicio determinado en los equipos, programando las revisiones en el momento más oportuno. Suele tener un carácter sistemático, es decir, se interviene, aun cuando el equipo no haya dado ningún síntoma de tener problemas [8], [9].

El requisito para que se pueda aplicar una técnica predictiva, es que el fallo incipiente genere señales o síntomas de su existencia, tales como alta temperatura, ruido, ultrasonido, vibración, partículas de desgaste y alto amperaje, entre otras.

Las técnicas para detección de fallos y defectos en maquinaria varían desde la utilización de los sentidos humanos (oído, vista, tacto y olfato), hasta la utilización de datos de control de proceso y de control de calidad, el uso de herramientas estadísticas y técnicas de modernas como el análisis de vibración, la termografía, la tribología, el análisis de circuitos de motores y el ultrasonido.

Se establecerán planes de mantenimiento preventivo basado en pautas las cuales se especifica con la siguiente nomenclatura.

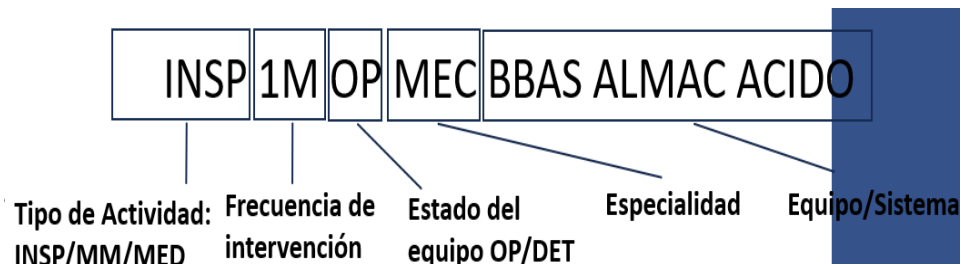


Figura 2- 4 Nomenclatura pauta de mantenimiento (Fuente: Formato de documento oficial procedimiento compañía minera).

A continuación, se adjunta tipo de pauta generada para desarrollo de mantención preventiva.

INSP 1M OP MEC ALMAC ACIDO

Documento Controlado

Generado por:

Fecha Revisión:

Herramientas

Cantidad	Horas	Descripción
----------	-------	-------------

Instrucciones (Indique si es aceptable (SI/NO) y registre los comentarios adicionales. Identifíquese en cada tarea realizada):

Sistema almacenamiento y distribución de ácido sulfúrico				
Paso N°	Sistema descarga de ácido	Límites Aceptables	Aceptable	Firma/ Iniciales
1.1.	Inspeccionar línea de succión bombas de impulsión por corrosión Comentarios Condicionales: Si se evidencia corrosión, se debe generar aviso para reparar o cambiar de forma inmediata. 	Sin corrosión	SI / NO	
1.2.	Inspeccionar revestimiento externo de línea de succión bombas de impulsión por rotura Comentarios Condicionales: Si se evidencia rotura, se debe generar aviso para reparar o cambiar de forma inmediata.	Rotura < 30% de la sección = reparar Rotura > 30% de la sección = cambiar	SI / NO	
1.3.	Inspeccionar válvulas de línea de succión bombas de impulsión por fuga Comentarios Condicionales: Si se evidencia fuga, se debe generar aviso para cambio de válvula de forma inmediata.	Sin fuga	SI / NO	
1.4.	Inspeccionar pernos de válvulas de línea de succión bombas de impulsión por soldadura Comentarios Condicionales: Si se evidencia visualmente soldadura de pernos, se debe generar aviso para reapretar perno de forma inmediata.	Sin soldadura	SI / NO	
1.5.	Inspeccionar uniones apornadas de línea de succión bombas de impulsión por fuga o corrosión. Comentarios Condicionales: Si se evidencia fuga o corrosión, se debe generar aviso para cambio de válvula de forma inmediata.	Sin fuga/sin corrosión	SI / NO	
	Inspeccionar bombas de impulsión por ruidos anormales			

Figura 2- 5 Ejemplo pauta de mantenimiento (Fuente: Formato de documento oficial procedimiento compañía minera).

CAPÍTULO 3 APLICACIÓN CASO DE ESTUDIO PLANTA DE ÁCIDO MEDIANTE EL DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA FMECA

La metodología propuesta mostrada en la Figura 2-1, fue aplicada a la planta de ácido, cuyo diagrama de proceso se muestra en el capítulo anterior. La planta de ácido está conformada por los dos subsistemas, estos son:

Sección de almacenamiento de ácido sulfúrico.

Sección de dosificación de ácido sulfúrico.

Cada uno de los bloques de la metodología propuesta será aplicado de manera separada a cada una de estas secciones.

3.1 Definición de la intención del diseño

La definición de la intención del diseño para la sección de almacenamiento de ácido sulfúrico se describe a continuación.

- El ácido sulfúrico, es transportado por camiones hasta el área de trasvasije, en donde se rellena el estanque TK 15 que tiene una capacidad de 70 m³. Este estanque, trasvasija el ácido hacia el estanque diario TK 16, que posee una capacidad de 6m³. Esto se realiza por medio de una bomba (existiendo otra bomba bypass de igual capacidad) conectada a líneas de acero al carbón de 2 pulgadas.

La definición de la intención del diseño para la sección de dosificación de ácido sulfúrico se describe a continuación.

- El ácido sulfúrico, es dosificado para realizar el control de PH, utilizando 4 bombas de desplazamiento positivo. Estas bombas están conectadas con el cajón alimentación Rougher, estanque alimentación Cu-Mo, cajón alimentación primera limpieza y cajón de alimentación segunda limpieza respectivamente.

3.2 Análisis funcional

Las funciones identificadas como resultado del análisis funcional para la sección de almacenamiento de ácido sulfúrico son:

Función principal: Suministrar ácido sulfúrico a las bombas dosificadoras a través del estanque diario a razón 10000 cc/m.

Función secundaria: Almacenar y contener hasta 70 m3 de ácido sulfúrico.

Las funciones identificadas como resultado del análisis funcional para la sección de dosificación de ácido sulfúrico son:

Función principal: Dosificar ácido sulfúrico a la planta de molibdeno para realizar el control de PH. Contener el ácido sulfúrico.

3.3 Identificación de modos de falla

Los modos de falla son identificados para cada falla funcional. Determinar los modos de falla es esencial en la metodología FMECA o AMFEC. El nivel de detalle en la identificación de los modos de falla nos permitirá relacionar, una acción de prevención y/o mitigación de riesgo. En nuestro caso, esta acción corresponde a una tarea de mantenimiento.

Para la función primaria: No suministrar ácido sulfúrico a las bombas dosificadoras.

Para la función secundaria: Perder contención de ácido sulfúrico.

Tabla 3- 1 Modo de falla de sección de almacenamiento de ácido (Fuente: Elaboración propia).

	Equipo		Función requerida del equipo		Falla funcional (total o parcial)		Modo de falla
1	Sección de almacenamiento de ácido sulfúrico	1.1	Suministrar ácido sulfúrico a las bombas dosificadoras a través del estanque diario a	1.1.1	Sistema no alcanza los 10.000cc/m	1.1.1.1	Falla bomba trasvasije
						1.1.1.2	Obstrucción en líneas
						1.1.1.3	Falla motor
		1.2	Almacenar y contener hasta 70m3 de ácido sulfurico	1.2.1	Perder la contención de ácido sulfúrico	1.2.1.1	Rotura líneas
						1.2.1.2	Rotura en estanque
						1.2.1.3	Rotura en contención

Tabla 3- 2 Modo de falla de sección de dosificación de ácido sulfúrico (Fuente: Elaboración propia).

	Descripción				Análisis		
	Equipo		Función requerida del equipo		Falla funcional (total o parcial)		Modo de falla
2	Sección de dosificación de ácido sulfúrico	2.1	Dosificar de ácido sulfúrico a la Planta de molibdeno para realizar el control de PH	2.1.1	Sistema no alcanza dosificación de ácido para control de PH	2.1.1.1	Falla bomba trasvasije
						2.1.1.2	Obstrucción en líneas
						2.1.1.3	Falla motor
		2.2	Contener el ácido sulfúrico	2.2.1	Perder la contención de ácido sulfúrico	2.2.1.1	Rotura líneas
						2.2.1.2	Rotura en estanque
						2.2.1.3	Rotura en contención

3.4 Efectos y consecuencias de las fallas

Aplicando lo explicado en el capítulo 2.1.4 se definirán: el modo de falla, el efecto de la falla y la consecuencia de este, para cada una de las dos secciones consideradas en este estudio.

Tabla 3- 3 Tabla de definición de modo, efecto y consecuencia de la falla (Fuente: Elaboración propia).

MODO DE FALLA	EFFECTO DE LA FALLA	CONSECUENCIA DE LA FALLA
1.1.1.1 Falla bomba trasvasije	Evidente:NO Afecta SHA:NO	Nivel bajo estanque diario ácido sulfúrico
1.1.1.2 Obstrucción líneas	Evidente:NO Afecta SHA:NO	Nivel bajo estanque diario ácido sulfúrico
1.1.1.3 Falla motor	Evidente:NO Afecta SHA:NO	Nivel bajo estanque diario ácido sulfúrico
1.2.1.1 Rotura líneas	Evidente:SI Afecta SHA:SI	Derrame de ácido sulfúrico
1.2.1.2 Rotura en estanque	Evidente:SI Afecta SHA:SI	Derrame de ácido sulfúrico
1.2.1.3 Rotura en contención	Evidente:SI Afecta SHA:SI	
2.1.1.1 Falla en bombas dosificadoras	Evidente:NO Afecta SHA:NO	Sin control PH
2.1.1.2 Líneas obstruidas	Evidente:NO Afecta SHA:NO	Sin control PH
2.1.1.3 Falla en motor de bomba	Evidente:NO Afecta SHA:NO	Sin control PH
2.2.2.1 Roturas en líneas	Evidente:SI Afecta SHA:SI	Derrame de ácido sulfúrico
2.2.2.2 Rotura en estanque	Evidente:SI Afecta SHA:SI	Derrame ácido sulfúrico mayor
2.2.2.3 Rotura en contención	Evidente:SI Afecta SHA:SI	Derrame ácido sulfúrico mayor

3.5 Jerarquización del riesgo

La jerarquización del riesgo tiene, como finalidad, identificar aquellos modos de falla que tienen un mayor impacto en la seguridad de la instalación. La jerarquización, mencionada en la metodología como “criticidad”, consiste en calificar la frecuencia de ocurrencia del modo de falla, por sus consecuencias, en este caso, el valor mayor de la categoría de consecuencia es el mandatorio. Con los resultados, el riesgo es ordenado en función de mayor a menor. Las categorías son las mencionadas anteriormente. Los resultados de la calificación de frecuencia por consecuencia y su jerarquización se muestran en la Tabla 3-4.

Tabla 3- 4 Calificación de frecuencia por consecuencia y su jerarquización (Fuente: Elaboración propia).

Equipo	Modo de falla		Frecuencia ocurrencia	Consecuencia personas	Consecuencia medio ambiente	Consecuencia producción	Riesgo FxC
Sección de almacenamiento de ácido sulfúrico	1.1.1.1	Falla bomba trasvasije	Media 3	Menor 1	Menor	Menor	3
	1.1.1.2	Obstrucción en líneas	Media 3	Menor	Menor	Moderado 2	6
	1.1.1.3	Falla motor	Media 3	Menor 1	Menor	Menor	3
	1.2.1.1	Rotura líneas	Media 3	Grave 3	Menor	Moderado	9
	1.2.1.2	Rotura en estanque	Baja 2	Grave	Menor	Catastrófico 4	8
	1.2.1.3	Rotura en contención	Remota 1	Grave	Grave	Catastrófico 4	4
Sección de dosificación de ácido sulfúrico	2.1.1.1	Falla bomba trasvasije	Alta 4	Menor 1	Menor	Menor	4
	2.1.1.2	Obstrucción en líneas	Baja 2	Menor 1	Menor	Menor	2
	2.1.1.3	Falla motor	Media 3	Menor 1	Menor	Menor	3
	2.2.1.1	Rotura líneas	Media 3	Grave 3	Menor	Moderado	9
	2.2.1.2	Rotura en estanque	Baja 2	Grave	Menor	Catastrófico 4	8
	2.2.1.3	Rotura en contención	Remota 1	Grave	Grave	Catastrófico 4	4

En la Figura 3-1, se muestra el histograma de riesgo para cada modo de falla identificados y evaluados, indicando en el eje X el modo de falla y en el eje Y el producto de la frecuencia y la consecuencia.

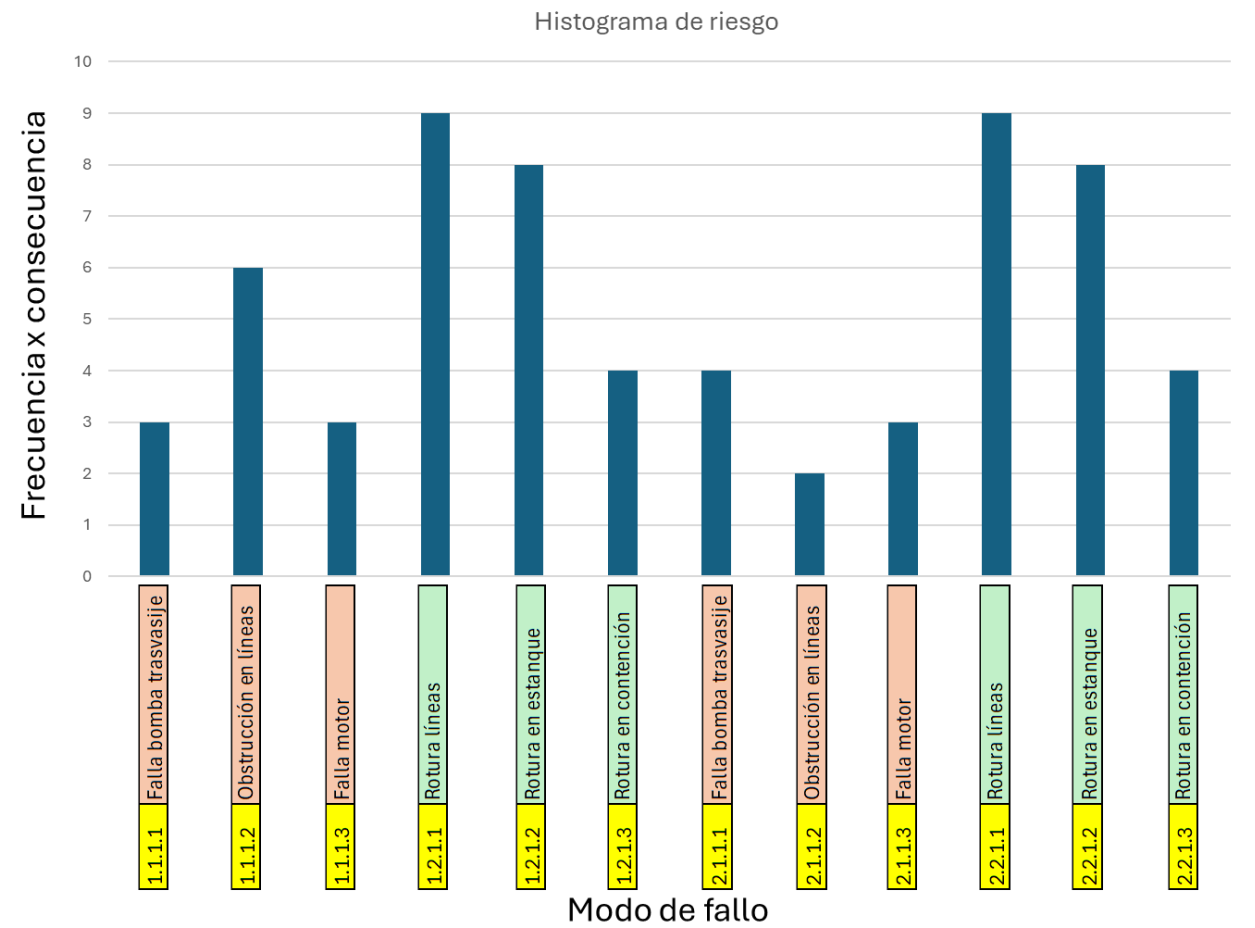


Figura 3- 1 Histograma de riesgo para los modos de falla identificados y evaluados (Fuente: Elaboración propia).

CAPÍTULO 4 PROPOSICIÓN DE MEJORAS EN PLAN DE MANTENIMIENTO

Después de realizar el levantamiento de información y hallazgos de la planta de ácido sulfúrico, y obtener el resultado del FMECA, se realizará una propuesta de plan de mantenimiento para dar cumplimiento al DS 43. Se propondrán cambios necesarios, así como detenciones de equipos o piezas que han cumplido con su vida útil y requieren ser reemplazados. Por otro lado, se diseña de un plan de mantenimiento para la planta que contemple, la frecuencia de cambio o mantenimiento según corresponda.

En base a la cantidad y a la criticidad de los hallazgos, la estrategia de mantenimiento tiene un componente de inspección de la condición y del estado de equipos con frecuencias altas, que debe ser revisada cada un año, y un componente correctivo el cual, debe ser realizado para dar continuidad al proceso y la normativa legal.

A continuación, se propondrá las mantenciones a los modos de falla de mayor criticidad en orden descendente.

4.1 Modos de falla

4.1.1 Modo falla 1211 Rotura de línea Sección Almacenamiento ácido sulfúrico.

Se propone el siguiente programa de mantenimiento

Tabla 4- 1 Programa de mantenimiento propuesto rotura de línea sección almacenamiento ácido sulfúrico (Fuente: Elaboración propia).

ACTIVIDAD	FRECUENCIA	ESTADO EQUIPO	ESPECIALIDAD	EQUIPO
Revisión líneas ácido	1 mes	Operando	Operaciones	Líneas ácido alim. bomba
Revisión líneas ácido	1 mes	Operando	Operaciones	Líneas ácido descarga bomba
Revisión válvulas ácido	45 días	Detenido	Operaciones	Válvula ácido
Medición líneas ácido	6 meses	Operando	Sintomática	Líneas ácido alim. bomba
Medición líneas ácido	6 meses	Operando	Sintomática	Líneas ácido descarga bomba

4.1.2 Modo falla 2211 Rotura de línea sección Dosificación ácido sulfúrico

Se propone el siguiente programa de mantenimiento:

Tabla 4- 2 Programa de mantenimiento propuesto rotura de línea sección dosificación ácido sulfúrico (Fuente: Elaboración propia).

ACTIVIDAD	FRECUENCIA	ESTADO EQUIPO	ESPECIALIDAD	EQUIPO
Revisión líneas ácido	1 mes	Operando	Operaciones	Líneas ácido alim. bomba
Revisión líneas ácido	1 mes	Operando	Operaciones	Líneas ácido descarga bomba
Revisión válvulas ácido	45 días	Detenido	Operaciones	Válvula ácido
Medición líneas ácido	6 meses	Operando	Sintomática	Líneas ácido alim. bomba
Medición líneas ácido	6 meses	Operando	Sintomática	Líneas ácido descarga bomba

4.1.3 Modo falla 1212 Rotura en estanque Sección Almacenamiento ácido sulfúrico

Se recomienda el siguiente programa de mantenimiento:

Tabla 4- 3 Programa de mantenimiento propuesto rotura de estanque sección almacenamiento ácido sulfúrico (Fuente: Elaboración propia).

ACTIVIDAD	FRECUENCIA	ESTADO EQUIPO	ESPECIALIDAD	EQUIPO
Revisión estanque ácido	1 mes	Operando	Mecánico	Estanque Almac. ácido TKR15
Revisión estanque ácido	3 mes	Operando	Infraestructura	Estanque Almac. ácido TKR15
Medición estanque ácido	1 año	Detenido	Sintomática	Estanque Almac. ácido TKR15
Medición interior TK ácido	3 años	Detenido	Sintomática	Estanque Almac. ácido TKR15
Medición verticalidad TK ácido	6 meses	Operando	Sintomática	Estanque Almac. ácido TKR15

4.1.4 Modo falla 2212 Rotura en estanque sección Dosificación ácido sulfúrico

Se recomienda el siguiente programa de mantenimiento:

Tabla 4- 4 Programa de mantenimiento propuesto rotura de estanque sección dosificación ácido sulfúrico (Fuente: Elaboración propia).

ACTIVIDAD	FRECUENCIA	ESTADO EQUIPO	ESPECIALIDAD	EQUIPO
Revisión estanque ácido	1 mes	Operando	Mecánico	Estanque Almac. ácido TKR15
Revisión estanque ácido	3 mes	Operando	Infraestructura	Estanque Almac. ácido TKR15
Medición estanque ácido	1 año	Detenido	Sintomática	Estanque Almac. ácido TKR15
Medición interior TK ácido	3 años	Detenido	Sintomática	Estanque Almac. ácido TKR15
Medición verticalidad TK ácido	6 meses	Operando	Sintomática	Estanque Almac. ácido TKR15

4.1.5 Modo falla 1112 Obstrucción en línea Sección Almacenamiento ácido sulfúrico

Se recomienda el siguiente programa de mantenimiento:

Tabla 4- 5 Programa de mantenimiento propuesto obstrucción de línea sección almacenamiento ácido sulfúrico (Fuente: Elaboración propia).

ACTIVIDAD	FRECUENCIA	ESTADO EQUIPO	ESPECIALIDAD	EQUIPO
Medición líneas ácido	6 mes	Operando	Sintomática	Líneas ácido
Limpieza líneas ácido	6 mes	Detenido	Operaciones	Líneas ácido

4.1.6 Modo falla 1213 Rotura en contención Sección Almacenamiento ácido sulfúrico

Se recomienda el siguiente programa de mantenimiento:

Tabla 4- 6 Programa de mantenimiento propuesto rotura de contención sección almacenamiento ácido sulfúrico (Fuente: Elaboración propia).

ACTIVIDAD	FRECUENCIA	ESTADO EQUIPO	ESPECIALIDAD	EQUIPO
Revisión contención ácido	1 mes	Operando	Operaciones	Contención ácido sulfúrico
Revisión contención ácido	3 mes	Operando	Infraestructura	Contención ácido sulfúrico
Medición contención ácido	1 año	Operando	Sintomática	Contención ácido sulfúrico

4.1.7 Modo falla 2111 Falla en bombas dosificador sección Dosificación ácido sulfúrico

Se recomienda el siguiente programa de mantenimiento:

Tabla 4- 7 Programa de mantenimiento propuesto Falla en bomba sección dosificación ácido sulfúrico (Fuente: Elaboración propia).

ACTIVIDAD	FRECUENCIA	ESTADO EQUIPO	ESPECIALIDAD	EQUIPO
Revisión bomba dosif.	1 mes	Operando	Operaciones	Bomba dosif. Ácido
Revisión bomba dosif.	3 mes	Operando	Eléctricos	Motor bomba dosif. Ácido
Revisión bomba dosif.	1 año	Operando	Mecánico	Bomba dosif. Ácido
Revisión bomba dosif.	3 meses	Detenido	Mecánico	Bomba dosif. Ácido
Revisión bomba dosif.	1año	Detenido	Eléctricos	Bomba dosif. Ácido

4.1.8 Modo falla 2213 Rotura en contención sección Dosificación ácido sulfúrico

Se recomienda el siguiente programa de mantenimiento:

Tabla 4- 8 Programa de mantenimiento propuesto rotura en contención sección dosificación ácido sulfúrico (Fuente: Elaboración propia).

ACTIVIDAD	FRECUENCIA	ESTADO EQUIPO	ESPECIALIDAD	EQUIPO
Revisión contención ácido	1 mes	Operando	Operaciones	Contención ácido sulfúrico
Revisión contención ácido	3 mes	Operando	Infraestructura	Contención ácido sulfúrico
Medición contención ácido	1 año	Operando	Sintomática	Contención ácido sulfúrico

4.4 Indicadores de resultados

Un indicador es una comparación entre dos o más tipos de datos, que sirve para elaborar una medida cuantitativa o una observación cualitativa. Esta comparación arroja un valor, una magnitud o un criterio, que tiene significado para quien lo analiza. Los indicadores de mantenimiento miden la calidad de las operaciones para alcanzar los objetivos de mantenimiento establecidos, como la reducción del tiempo de inactividad o la reducción de costes. Son indicadores de referencia que permiten evaluar la evolución del equipo a lo largo del tiempo, que ponen de manifiesto en qué punto se encuentra el equipo y qué se debe hacer para alcanzar los objetivos. Además, son un buen apoyo para definir el camino hacia la mejora continua del departamento de Mantenimiento. Los indicadores se utilizan en diversos ámbitos de la industria. En este capítulo, analizaremos los indicadores que permitan cuantificar y evaluar los recursos técnicos y económicos de la implementación de las recomendaciones generadas a partir del FMECA.

De acuerdo con los requerimientos del proceso, y una vez ejecutadas las recomendaciones de mantenimiento, definiremos el indicador principal.

4.4.1 Indicador principal.

Debido a que por sí misma, la planta de ácido no es productora de materias primas, sino que es un insumo para la producción de molibdeno, hemos considerado que el indicador principal es la detención de la planta de Molibdeno producto de una falla en planta de ácido.

Se adjunta tabla resumen de detenciones no programadas de planta de molibdeno durante el año 2023.

SGM

SISTEMA DE GESTION DE MANTENIMIENTO

DIRECTIC

Home

Reliability

Detentions

Yuri Seguel / Supervisor Planta SAG-CH1

Tipo: D100

Área/Grupo: [Las Tórtolas 1: Planta de Moly LT1 (1)]

Equipo: Planta Moly LT1

Mayor a: 0 h

Desde: 01/01/2023

Hasta: 31/12

Lista de Detenciones (10)

Desde: 01/01/2023 08:00 Hasta: 01/01/2024 08:00

Crónico/Agudo: Todos...

Grupo	Equipo	Inicio	Término	Duración	Horas	Evento	Tipo	Árbol de Falla	Motivo	Comentario
Planta de Moly LT1	Planta Moly LT1	11/01/2023 02:41:43	11/01/2023 12:38:46	9:57:03	9,95	1	D100	Planta Moly LT-1\Mantencción no programada\Acondicionador 3\Mecánica\Estructura	Rotura Cañerías/Codos/Ductos	Rotura linea de descarga acondicionador 3
Planta de Moly LT1	Planta Moly LT1	24/01/2023 15:36:13	26/01/2023 18:34:08	50:57:55	50,97	1	D100	Planta Moly LT-1\Mantencción no programada\Acondicionador 1\Instrumentación\Instrumentos	Bomba adición de Acido Acondicionador 1	Falla en bomba adición de ácido acondicionador #1. (25/01) Se realiza cambio de bomba Ok. Luego, se detecta deterioro mayor en mesa, o estructura de soporte de bombas de ácido (oxidó / corrosión). Se estima para hoy (26/01) el termino de trabajos de recuperación. Hay bajo sólido
Planta de Moly LT1	Planta Moly LT1	03/02/2023 07:27:34	03/02/2023 13:31:16	6:03:42	6,06	1	D100	Planta Moly LT-1\Mantencción no programada\Acondicionador 3\Mecánica\Estructura	Rotura Cañerías/Codos/Ductos	06:26 trip de bbas de nash y acido por emanacion de H2S marca 27.16 planta queda sin reactivo - Se recibe planta detenida por problemas de emanación en Acond 3, se realizar pruebas encontrando que fuga por valvula de alivio, se decide desgacificar acond 3 para poder revisar de mejor manera la valvula, se mantiene pasando carga, además de realizan revisión a pH y ORP 1ra limpieza
Planta de Moly LT1	Planta Moly LT1	03/02/2023 14:03:35	04/02/2023 19:19:51	29:16:16	29,27	1	D100	Planta Moly LT-1\Mantencción no programada\Acondicionador 3\Mecánica\Estructura	Rotura Cañerías/Codos/Ductos	Se recibe planta detenida - Acondicionador 3 es llenado con agua, vaciado y queda cerrado (con sello de agua) el tapón alimentación al acondicionador - Planta detenida se continuan trabajos en Acond 3, se le realiza mantención a valvula alivio acond 3, quedando operativo solo control de vacio. Se coloca en operación a las 15 Hrs, con baja dosificación de reactivos
Planta de Moly LT1	Planta Moly LT1	30/03/2023 13:45:56	30/03/2023 21:54:06	8:08:10	8,14	1	D100	Planta Moly LT-1\Mantencción no programada\Circuito Scavenger\Mecánica\Componentes	Tapones	Se recibe planta detenida por bajo Cp espesador mixto - - Se repone ventanas retiradas para la mantención del tapón - Se deja lista planta para puesta en servicio
Planta de Moly LT1	Planta Moly LT1	25/05/2023 07:17:29	26/05/2023 00:30:44	17:13:15	17,22	1	D100	Planta Moly LT-1\Mantencción no programada\Acondicionador 3\Mecánica	Agitador (eje y aspas)	07:17:29 a 13:00:00 Lavado de Equipo. 13:00:00 a 00:30:00 Trabajos Mecánicos. 00:30:00 - Estrategia Operacional
Planta de Moly LT1	Planta Moly LT1	13/08/2023 20:23:17	14/08/2023 20:49:43	24:26:26	24,44	1	D100	Planta Moly LT-1\Mantencción no programada\Acondicionador 1\Mecánica\Estructura	Fugas / Filtraciones	Trabajos en estanque de almacenamiento de ácido.
Planta de Moly LT1	Planta Moly LT1	14/10/2023 05:56:33	14/10/2023 09:42:19	3:45:26	3,76	1	D100	Planta Moly LT-1\Mantencción no programada\Columna\Mecánica\Estructura	Rotura Cañerías/Codos/Ductos	Rotura codo alimentacion columna
Planta de Moly LT1	Planta Moly LT1	27/10/2023 01:00:34	27/10/2023 15:24:23	14:23:49	14,4	1	D100	Planta Moly LT-1\Mantencción no programada\Acondicionador 3\Mecánica\Estructura	Rotura Cañerías/Codos/Ductos	Sin reactivos y pasando carga por rotura en acondicionador 3. Se entrega desgasicando equipo para posterior intervención de mantenedores -
Planta de Moly LT1	Planta Moly LT1	06/11/2023 05:03:38	06/11/2023 07:19:13	2:15:35	2,26	1	D100	Planta Moly LT-1\Mantencción no programada\General Planta\Instrumentación\Control	Sensor de nivel	Vaciado estanque diario NASH (Inestabilidad de potenciales)

Total de Registros 10 - Página 1 de 1 Registros por página: 300

Figura 4- 1 Tabla de resumen planta molibdeno (Fuente: Sistema de gestión de mantenimiento).

De a acuerdo al diagrama podemos observar que, el total de detenciones no programadas de la planta de molibdeno suma 10 eventos, con un total de 166.47 horas. La principal causa es provocada por detenciones a causa de fallas en planta de ácido sulfúrico, con 81,47 horas. Estas equivalen a 48,39 % del total de detenciones durante el 2023. Se pretende reducir, una vez implementado el proceso de mantención sugerido, en un 70% las fallas, lo cual equivale a reducir en 57 horas las detenciones.

A continuación, se muestra el grafico de detención planta de molibdeno durante 2023.

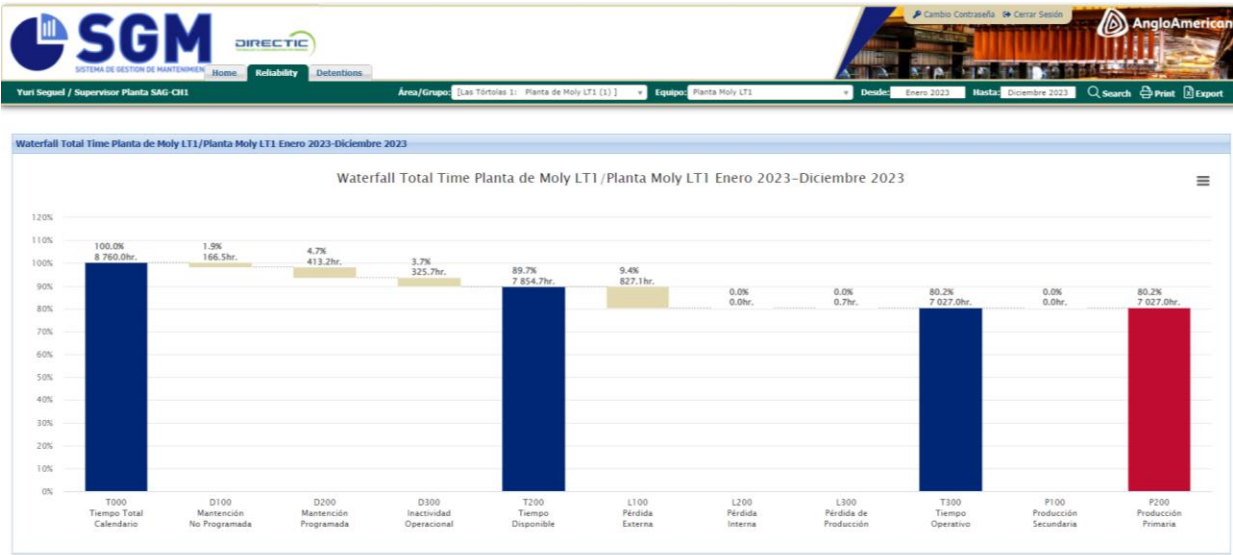


Figura 4- 2 Grafico de detenciones de la planta de molibdeno(Fuente: Sistema de gestión de mantenimiento).

En el grafico anterior podemos observar que la disponibilidad requerida de la planta es de 8022 horas anuales, con un Budget de 1241 ton de molibdeno fino. La operación real fue de 7940 horas, y la producción real durante 2023 fue de 791 toneladas, lo cual representa sólo un 64% del Budget. A las 81,47 horas de detención por planta de ácido, se le imputan 12,29 toneladas de molibdeno fino sin producir (valorado en \$ 812.725.410). Como pretendemos reducir en un 70 % las detenciones (57 horas) por este ítem, se podría producir 8,603 toneladas como resultado de evitar dichas fallas.

El precio promedio de la tonelada de molibdeno fino durante el 2023 fue de 70.500 dólares (\$ 66.129.000 pesos chilenos).

Tabla 4- 9 Ingreso esperado por mayor disponibilidad (Fuente: Elaboración propia).

	MODO DE FALLA	Frecuencia Fallas/año	Riesgo \$/año	COSTO IMPLEMENTAR RCM	AHORRO POTENCIAL
ACTIVIDAD	Modo de falla 1211	> 1 en 1 semana	\$ 159.011.487	\$ 43.200.000	\$ 115.811.487
ACTIVIDAD	Modo de falla 2211	1 semana a 1 mes	\$ 159.011.487	\$ 43.200.000	\$ 115.811.487
ACTIVIDAD	Modo de falla 1212	1 mes a 1 año	\$ 141.343.544	\$ 39.600.000	\$ 101.743.544
ACTIVIDAD	Modo de falla 2212	1 mes a 1 año	\$ 35.335.886	\$ 39.600.000	\$ -4.264.114
ACTIVIDAD	Modo de falla 1112	1 semana a 1 mes	\$ 106.007.658	\$ 18.000.000	\$ 88.007.658
ACTIVIDAD	Modo de falla 1213	<1 en un año	\$ 70.671.772	\$ 23.400.000	\$ 47.271.772
ACTIVIDAD	Modo de falla 2111	>1 en una semana	\$ 70.671.772	\$ 32.400.000	\$ 38.271.772
ACTIVIDAD	Modo de falla 2213	<1 en un año	\$ 70.671.772	\$ 23.400.000	\$ 47.271.772
Pérdida año			\$ 812.725.378	\$ 262.800.000	\$ 549.925.378

4.4.2 Análisis de Costos

A continuación, se expondrá la tabla de resumen de mantención sugerida, así como el costo de esta, como se puede observar a continuación se expondrá una estrategia de mantenimiento intensiva en HH especializada.

Tabla 4- 10 Tabla de costos detallada por actividad de mantenimiento propuesta (Fuente: Elaboración propia).

EQUIPO		TIEMPO TAREA	H/H	COSTO HH	COSTO	COSTO TOTAL	RIESGO
		HRS	AÑO	AÑO	MANTENC	ACTIVIDAD	AÑO
ACTIVIDAD	Modo de falla 1211						
Revisión líneas ácido	Líneas ácido alim.bomba	2	48	\$ 1.440.000	\$ 2.160.000	\$ 3.600.000	
Revisión líneas ácido	Líneas ácido descarga.bomba	2	48	\$ 1.440.000	\$ 2.160.000	\$ 3.600.000	
Revisión válvulas ácido	Válvula ácido	12	192	\$ 5.760.000	\$ 8.640.000	\$ 14.400.000	
Medición líneas ácido	Líneas ácido alim.bomba	36	144	\$ 4.320.000	\$ 6.480.000	\$ 10.800.000	
Medición líneas ácido	Líneas ácido descarga.bomba	36	144	\$ 4.320.000	\$ 6.480.000	\$ 10.800.000	
						\$ 43.200.000	\$ 159.011.487
ACTIVIDAD	Modo de falla 2211						
Revisión líneas ácido	Líneas ácido alim.bomba	2	48	\$ 1.440.000	\$ 2.160.000	\$ 3.600.000	
Revisión líneas ácido	Líneas ácido descarga.bomba	2	48	\$ 1.440.000	\$ 2.160.000	\$ 3.600.000	
Revisión válvulas ácido	Válvula ácido	12	192	\$ 5.760.000	\$ 8.640.000	\$ 14.400.000	
Medición líneas ácido	Líneas ácido alim.bomba	36	144	\$ 4.320.000	\$ 6.480.000	\$ 10.800.000	
Medición líneas ácido	Líneas ácido descarga.bomba	36	144	\$ 4.320.000	\$ 6.480.000	\$ 10.800.000	
						\$ 43.200.000	\$ 159.011.487
ACTIVIDAD	Modo de falla 1212						
Revisión estanque ácido	Estanque Almac. ácido TKR15	8	192	\$ 5.760.000	\$ 8.640.000	\$ 14.400.000	
Revisión estanque ácido	Estanque Almac. ácido TKR15	8	192	\$ 5.760.000	\$ 8.640.000	\$ 14.400.000	
Medición estanque ácido	Estanque Almac. ácido TKR15	24	48	\$ 1.440.000	\$ 2.160.000	\$ 3.600.000	
Medición interior TK ácido	Estanque Almac. ácido TKR15	24	48	\$ 1.440.000	\$ 2.160.000	\$ 3.600.000	
Medición verticalidad TK ácido	Estanque Almac. ácido TKR15	24	48	1440000	\$ 2.160.000	\$ 3.600.000	
						\$ 39.600.000	\$ 141.343.544
ACTIVIDAD	Modo de falla 2212						
Revisión estanque ácido	Estanque Almac. ácido TKR15	8	192	\$ 5.760.000	\$ 8.640.000	\$ 14.400.000	
Revisión estanque ácido	Estanque Almac. ácido TKR15	8	192	\$ 5.760.000	\$ 8.640.000	\$ 14.400.000	
Medición estanque ácido	Estanque Almac. ácido TKR15	24	48	\$ 1.440.000	\$ 2.160.000	\$ 3.600.000	
Medición interior TK ácido	Estanque Almac. ácido TKR15	24	48	\$ 1.440.000	\$ 2.160.000	\$ 3.600.000	
Medición verticalidad TK ácido	Estanque Almac. ácido TKR15	24	48	\$ 1.440.000	\$ 2.160.000	\$ 3.600.000	
						\$ 39.600.000	\$ 35.335.886
ACTIVIDAD	Modo de falla 1112						
Medición líneas ácido	Líneas ácido	36	144	\$ 4.320.000	\$ 6.480.000	\$ 10.800.000	
Limpieza líneas ácido	Líneas ácido	24	96	\$ 2.880.000	\$ 4.320.000	\$ 7.200.000	
						\$ 18.000.000	\$ 106.007.658
ACTIVIDAD	Modo de falla 1213						
Revisión contención ácido	Contención ácido sulfúrico	4	96	\$ 2.880.000	\$ 4.320.000	\$ 7.200.000	
Revisión contención ácido	Contención ácido sulfúrico	24	192	\$ 5.760.000	\$ 8.640.000	\$ 14.400.000	
Medición contención ácido	Contención ácido sulfúrico	12	24	\$ 720.000	\$ 1.080.000	\$ 1.800.000	
						\$ 23.400.000	\$ 70.671.772
ACTIVIDAD	Modo de falla 2111						
Revisión bomba dosif.	Bombas dosif. ácido	4	96	\$ 2.880.000	\$ 4.320.000	\$ 7.200.000	
Revisión bomba dosif.	Motor Bombas dosif. ácido	4	96	\$ 2.880.000	\$ 4.320.000	\$ 7.200.000	
Revisión bomba dosif.	Bombas dosif. ácido	4	96	\$ 2.880.000	\$ 4.320.000	\$ 7.200.000	
Revisión bomba dosif.	Bombas dosif. ácido	12	96	\$ 2.880.000	\$ 4.320.000	\$ 7.200.000	
Revisión bomba dosif.	Bombas dosif. ácido	24	48	\$ 1.440.000	\$ 2.160.000	\$ 3.600.000	
						\$ 32.400.000	\$ 70.671.772
ACTIVIDAD	Modo de falla 2213						
Revisión contención ácido	Contención ácido sulfúrico	4	96	\$ 2.880.000	\$ 4.320.000	\$ 7.200.000	
Revisión contención ácido	Contención ácido sulfúrico	24	192	\$ 5.760.000	\$ 8.640.000	\$ 14.400.000	
Medición contención ácido	Contención ácido sulfúrico	12	24	\$ 720.000	\$ 1.080.000	\$ 1.800.000	
						\$ 23.400.000	\$ 70.671.772
TOTAL				\$ 105.120.000	\$ 157.680.000	\$ 262.800.000	\$ 812.725.378

Todo el trabajo se realizará con personal propio, debido a que la compañía cuenta con personal calificado para realizar las tareas requeridas.

CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES

Este trabajo consistió en Aplicar la metodología de Análisis de Modos, Efectos de Fallas y Criticidad (FMECA), en la planta ácido sulfúrico para aumentar disponibilidad de planta molibdeno y cumplir con los requerimientos del Decreto Supremo 43, analizando aspectos tales como la seguridad, el medio ambiente, los costos y la producción.

Es indispensable conocer la importancia del cumplir la normativa vigente, así como realizar una adecuada mantención a los equipos que están en contacto con el ácido sulfúrico por considerarse una sustancia peligrosa, lo que obliga a tener un trato especial para este producto debido a su peligrosidad para la seguridad del personal y el medio ambiente.

En este trabajo, basado en un extenso análisis de los equipos, numerosas visitas a terreno, reunión con especialistas del área de diversas especialidades, quedo expuesta la mejor opción de mejora para la mantención de la planta de ácido y las consecuencias de no realizarlas.

En el área económica se comienza dando la indicación de que cumplir con este programa de mantención es totalmente necesario ya que si no se cumplen con el decreto supremo 43 el ministerio de salud puede ordenar el cierre de la instalación produciendo perdida de producción de molibdeno, además de las consideraciones de perdida de producción por fallas durante el año es muy considerable respecto a los costos que significa realizar la mantención recomendada.

Este proyecto toma en cuenta datos del año 2023 completo, por lo que es información bastante actualizada, se puede apreciar que es una propuesta que tiene un significativo impacto en la mejora de la producción costo, seguridad y continuidad operacional.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] “Anglo American Chile.” <https://chile.angloamerican.com/> (accessed Mar. 20, 2024).
- [2] “Ley Chile - Decreto 43 29-MAR-2016 MINISTERIO DE SALUD - Biblioteca del Congreso Nacional.” <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1088802> (accessed Mar. 20, 2024).
- [3] GS Soluciones Industriales, “(24) METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE FALLOS | LinkedIn.” <https://www.linkedin.com/pulse/metodología-de-análisis-fallos-gs-soluciones-industriales/?originalSubdomain=es> (accessed Mar. 21, 2024).
- [4] J. R. Aguilar-Otero, R. Torres-Arcique, and D. Magaña-Jiménez, “Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad,” *Tecnol. Ciencia, Educ.*, vol. 25, no. 1, pp. 15–26, 2010, Accessed: Mar. 21, 2024. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48215094003>.
- [5] J. Medina, “RCM PASO 2: FALLOS FUNCIONALES ¿Cuáles son los estados de falla asociados a las funciones? | Confiabilidad RCM - Blog especializado en la Confiabilidad Operativa y su implementación en México.” <https://confiabilidadrcm.wordpress.com/2016/08/21/paso-2-fallos-funcionales/> (accessed Mar. 22, 2024).
- [6] IBM, “¿Qué es el mantenimiento preventivo? Tipos, ejemplos y beneficios | IBM.” <https://www.ibm.com/es-es/topics/what-is-preventive-maintenance> (accessed Mar. 21, 2024).
- [7] Reliableplant, “Programas de inspección Mantenimiento preventivo y predictivo.” <https://theassetguardian.com/es/blog/inspection-programs/> (accessed Mar. 21, 2024).
- [8] G. Acuña and F. Cubillos, “Proyecto 7: Sistema predictivo de apoyo a la gestión de mantenimiento y de procesos industriales de manufactura basado en herramientas de inteligencia computacional | Programa IMA,” 2017. .
- [9] “Mantenimiento predictivo - Wikipedia, la enciclopedia libre.” https://es.wikipedia.org/wiki/Mantenimiento_predictivo (accessed Mar. 21, 2024).