

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“ACTUALIZACIÓN PLANES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO E
IMPLEMENTACIÓN MONITOREO CONTINUO CODELCO
DIVISIÓN VENTANAS”**

**Memoria para optar al Título de:
INGENIERO MECÁNICO**

**ALUMNO : Pablo Valladares Muñoz
PROFESOR GUÍA: Rigoberto Guardia**

2019

AGRADECIMIENTOS

Empezar agradeciendo al profesor Rigoberto Guardia quien me otorgo su apoyo, conocimiento y experiencia para la realización adecuada de mi trabajo de título.

Agradecimiento general al área Ingeniería mantenimiento predictivo por la oportunidad de realizar mi trabajo de título en su empresa, a los Sres., Héctor Saavedra Cortes Jefe Mantenimiento Predictivo, a los analistas Dagoberto Ovalle y Carlos Sanhueza R.

Agradecimiento especial a aquellas personas de quienes obtuve de forma voluntaria ayuda para obtener información necesaria para el desarrollo de este trabajo.

Dedicado a mi familia, de quienes en todo momento sentí apoyo necesario para seguir adelante.

A mi Hermano Jorge y Sobrino Felipe.

A mi madre Amelia y abuela Josefina por el esfuerzo realizado todos estos años para que pudiera cursar una carrera universitaria.

A Mi padre Luis y abuelo Miguel por el apoyo incondicional.

Para todos Ustedes, Muchas Gracias.

RESUMEN

El presente trabajo de memoria aborda el aspecto analítico en el desarrollo de procesos productivos y políticas de mantenimiento, más específicamente en la determinación de Equipos críticos y posterior mejora en aquellos equipos dentro de la empresa.

Para esto, se hace una introducción de las estrategias de mantenimiento existentes, se estudian en detalle las técnicas de jerarquización de activos. Se recopilan datos históricos de las fallas de cada equipo existente en planta de ácido y se investigan los requerimientos corporativos para selección de equipos críticos. Ya conocido el contexto operacional, se analizan las ventajas y desventajas de cada método de selección. Se establece que el método de mejor aplicación es la técnica Jack Knife.

Se desarrollan planes de mantenimiento a cada equipo crítico, integrando la herramienta de análisis FMECA, los cuales incorporan criterios de mantenibilidad en su diseño.

A su vez se procede a realizar una mejora continua en cada equipo para aumentar la confiabilidad y disponibilidad. En el presente trabajo se instauraron las bases de un sistema monitoreo de vibraciones en tiempo real que reemplazará el plan actual de medición.

La ejecución del trabajo propuesto es sumamente atractiva, tanto en el ámbito económico como técnico, puesto que disminuye riesgos asociado a seguridad hacía las personas, disminuye horas hombres asociado a optimizar tiempos de inspección, análisis predictivo y costos por mantenimiento correctivo.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	- 7 -
1.1	INTRODUCCIÓN	- 7 -
1.2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	- 8 -
1.3	OBJETIVO GENERAL	- 8 -
2	ANTECEDENTES GENERALES	- 9 -
2.1	ANTECEDENTES DE LA EMPRESA	- 9 -
2.1.1	Ubicación	- 10 -
2.2.1	Organización superintendencia mantenimiento	- 11 -
2.3	MISIÓN	- 12 -
2.4	PROCESO PRODUCTIVO	- 12 -
2.4.1	Fundición	- 14 -
2.4.2	Electro Refinación	- 15 -
2.4.3	Productos Finales	- 15 -
2.4.5	Planta de ácido	- 16 -
2.5	SERVICIOS DE MANTENCIÓN	- 19 -
2.5.1	Mantenimiento preventivo	- 19 -
2.5.2	Mantenimiento predictivo	- 19 -
2.5.3	Mantenimiento correctivo	- 19 -
2.5.4	Mantenimiento mayor	- 20 -
2.6	PROCESO DE MANTENIMIENTO RUTINARIO	- 20 -
2.6.1	Notificación	- 20 -
2.6.2	Selección de tareas	- 20 -
2.6.3	Planificación de tareas	- 21 -
2.6.4	Programación de tareas	- 21 -
2.6.5	Ejecución de tareas	- 22 -
2.6.6	Actividades preventivas	- 22 -
3	MARCO TEÓRICO	- 22 -
3.1	ANÁLISIS DE CRITICIDAD	- 22 -
3.1.1	Pareto	- 24 -
3.1.2	Análisis de dispersión Jack Knife	- 26 -
3.2	FAILURE MODES, EFFECTS AND CRITICALITY ANALYSIS (FMECA)	- 29 -
4	SISTEMA MANTENIMIENTO ACTUAL PLANTA DE ACIDO	- 32 -
4.1	ANÁLISIS DE CRITICIDAD ACTUAL	- 33 -
4.2	PLAN PROPUESTO PLANTA DE ACIDO	- 36 -
4.3	ANÁLISIS DE CRITICIDAD	- 36 -
4.3.1	Pareto	- 36 -
4.3.2	Jack Knife equipos planta ácido	- 39 -

4.4	SELECCIÓN EQUIPOS CRÍTICOS.....	- 44 -
4.5	FMECA - ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA, EFECTOS Y CRITICIDAD.....	- 44 -
4.4.1	Propósito del método FMECA	- 44 -
4.5.2	Definición de límites del estudio.....	- 47 -
4.5.3	Método de la raíz de riesgo	- 47 -
4.5.4	Estimación de Severidad	- 48 -
4.5.5	Interpretación del NPR	- 50 -
4.5.6	Desarrollo del análisis	- 50 -
4.6	ANÁLISIS DE DATOS.....	- 52 -
4.6.1	Resultados de análisis FMECA	- 52 -
4.6.1.1	Criterio de Criticidad en FMECA.....	- 52 -
4.6.1.2	Modos de falla críticos.....	- 52 -
4.7	Ciclo de Análisis de Modos de Fallas, Efectos y Criticidad (FMECA).....	- 55 -
5	DESARROLLO DE PLANES DE MANTENIMIENTO A EQUIPOS CRÍTICOS.....	- 56 -
5.1	PLANES DE MANTENIMIENTO.....	- 56 -
5.2	ACTUALIZACIÓN DE PAUTAS DE MANTENIMIENTO.	- 59 -
6	ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO	- 60 -
6.1	IMPACTO DE IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS.....	- 60 -
6.2	DISMINUIR TIEMPO ASIGNADO A INSPECCIONES PREDICTIVAS	- 61 -
6.3	AUMENTO PRODUCCIÓN	- 62 -
6.3.1	Equipos críticos que impactan en producción	- 62 -
7	IMPLEMENTACIÓN SISTEMA MONITOREO EN LÍNEA	- 64 -
7.1	SELECCIÓN DE EQUIPO	- 64 -
7.2	Monitoreo vibración actual.....	- 65 -
7.3	MODELO DE SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO	- 65 -
7.4	ESQUEMA MONITOREO CONDICIÓN.....	- 66 -
7.5	MEDICIÓN DE VIBRACIÓN EN TIEMPO REAL	- 67 -
7.6	LAYOUT IMPLEMENTACIÓN	- 69 -
7.7	BENEFICIOS MONITOREO CONTINUO.....	- 73 -
7.7.1	Ventajas del mantenimiento predictivo basado en monitoreo continuo.....	- 73 -
7.8	SISTEMAS ACTUALES DE MONITOREO Y CONTROL EXISTENTES EN EL MERCADO	- 74 -
7.8.1	Análisis propuesta empresas SKF y CST	- 74 -
8	EVALUACIÓN ECONÓMICA	- 75 -
8.1	EVALUACIÓN ECONÓMICA IMPLEMENTACIÓN SISTEMA MONITOREO VIBRACIÓN.....	- 75 -
8.2	LOCALIZACIÓN DE MONITOREO Y ANÁLISIS.....	- 75 -
8.3	PERSONAL NECESARIO	- 76 -
8.4	PRESUPUESTO ÁREA INGENIERÍA MANTENIMIENTO PREDICTIVO.....	- 76 -
8.5	COSTOS POR MANTENCIÓN CORRECTIVA	- 76 -

8.6	ANÁLISIS DE ESCENARIO	- 77 -
8.7	MONEDA A UTILIZAR.....	- 77 -
8.8	TASA DE DESCUENTO	- 77 -
8.9	COSTOS OPERACIONALES	- 78 -
8.10	AÑOS DE EVALUACIÓN DEL PROYECTO.....	- 78 -
8.11	FLUJO DE CAJA	- 78 -
9	CONCLUSIÓN	- 79 -
	BIBLIOGRAFÍA	- 82 -
	ANEXOS	- 83 -
	ANEXO 1: PROCESO PLANTA ÁCIDO	- 83 -
	ANEXO 3: PLANES DE TRABAJO.....	- 103 -
	ANEXO 4: COTIZACIONES MONITOREO VIBRACIÓN EN LÍNEA.....	- 117 -
	ANEXO 5: COSTO POR MANTENIMIENTO CORRECTIVO.....	- 124 -
	ANEXO 6: LISTADO DE MATERIALES Y COTIZACIÓN	- 125 -

1 Introducción

1.1 Introducción

Para nadie es ajeno saber que con el pasar de los años, las exigencias de las industrias se han ido incrementando, apuntando derechamente hacia optimizar la seguridad de las personas y el medio ambiente. En este escenario en el cual las más grandes empresas del mundo buscan de manera concreta optimizar los tiempos muertos dentro de los procesos, aumentando la confiabilidad y disponibilidad de los equipos, pero más aún, reducir el potencial daño que pueda ocasionarse a la comunidad y al entorno que las rodea, dentro de estas premisas, las mejoras apuntadas al mantenimiento ha cobrado cada vez mayor importancia: equipos con disponibilidad cercana al 100% y confiabilidad asegurada auguran ventajosamente una disminución del impacto negativo que pueda poner en riesgo la vida de las personas, el medio ambiente y el correcto funcionamiento de los procesos.

Los conceptos de mantenimiento y calidad están creciendo de manera sustancial, hacia un mantenimiento y una calidad total. Para asegurar que estos parámetros evolucionen hacia una mejora concreta en el área industrial, tanto calidad como mantenimiento deben crecer a la par, y una de las maneras más concretas y eficientes de hacerlo es implementando el concepto de Mantenimiento Predictivo, esta es una técnica que permite pronosticar el punto futuro de falla de algún componente de una máquina, de forma que tal componente se pueda remplazar en base a un plan de trabajo elaborado, justo antes de que falle. Así, se minimizan el tiempo muerto con una repercusión positiva en la disminución de los riesgos asociados a daños a la vida de las personas como así también el perjuicio del medio ambiente.

El estudio se realizará en la Planta de ácido de CODELCO División Ventanas apuntando a detectar los posibles “cuello de botella” dentro de los procesos de la planta, los cuales pueden ser perjudicial a corto y mediano plazo en caso de presentar fallas en sus componentes, poniendo en riesgo la vida de los trabajadores como así también la del entorno con el cual interactúan.

Como resultado final al que apunta este trabajo es identificar y seleccionar equipos que requieran modificar sus planes de mantenimiento e implementar un monitoreo en tiempo real y evaluar la

factibilidad de un sistema de monitoreo continuo, para así poder anticiparse a una posible falla que tenga consecuencia de alto impacto y evitar pérdidas en producción.

1.2 Planteamiento del problema

CODELCO División Ventanas ha solicitado realizar un trabajo en la Planta de Ácido que consiste en identificar equipos en riesgos para las personas, medio ambiente y para requerimientos de la producción, estos equipos son de tipo rotativo entre otros.

Como resultado final al que apunta el estudio es identificar equipos que requiera un monitoreo en tiempo real y actualización de sus planes de mantenimiento, para así poder anticiparse a una posible falla que tenga consecuencia de alto impacto.

1.3 Objetivo general

Modificar planes de mantenimiento en equipos rotativos que presentan mayor grado de criticidad dentro del área Planta de ácido, y proponer un monitoreo en tiempo real en equipos de mayor importancia.

1.4 Objetivo específico

- Evaluar equipos críticos y asignar valor de criticidad, analizando posibles causas y efecto en aquellos equipos.
- Determinar planes de mantenimiento para los equipos que presenten mayor grado de criticidad.
- Desarrollar estudio técnico de un sistema de monitoreo, analizando alternativas de los existentes en el mercado.

- Realizar una Evaluación Económica de las distintas alternativas que existen en el mercado.

2 Antecedentes generales

2.1 Antecedentes de la empresa

La Fundición de Ventanas fue construida en la década de los 60 luego que el estado chileno decidiera tener una nueva fundición y refinería para exportar el cobre con mayor valor agregado.

Se escogió esta ubicación por su cercanía a los puertos de Quintero y Valparaíso, por contar con un abastecimiento seguro de agua desde el río Aconcagua, y la equidistancia con centros y proyectos mineros de la época.

La obra, comenzó en 1960, a cargo de la empresa Klochner – Humboldt – Deutz y fue inaugurada el 30 de septiembre de 1964 y paralelamente en 1963, se contrató con Ferrostall A.G y Hochtief A.G., la construcción de una refinería electrolítica que fue inaugurada el 11 de noviembre de 1966.

A lo largo del tiempo la fundición a manos de ENAMI tiene una capacidad de fusión de 420.000 toneladas anuales de concentrado. La refinería Electrolítica tiene una capacidad de producción superior a 330.00 Toneladas de cátodos. Ver figura 1 ubicación actual planta.



Figura 1: Codelco división Ventanas

El traspaso de la Fundición y Refinería Ventanas de ENAMI a CODELCO fue dispuesto como una fórmula para solucionar los pasivos acumulados por la primera sin que el estado perdiera su control. Consecuencia de esta “formula” se decreta la LEY 19.993 el 4 de enero del año 2005. Donde se establece que CODELCO garantizará que ventanas mantendrá la capacidad para fundir y refinar, sin restricción ni limitación alguna la producción de cobre de las pequeñas y mediana minería.

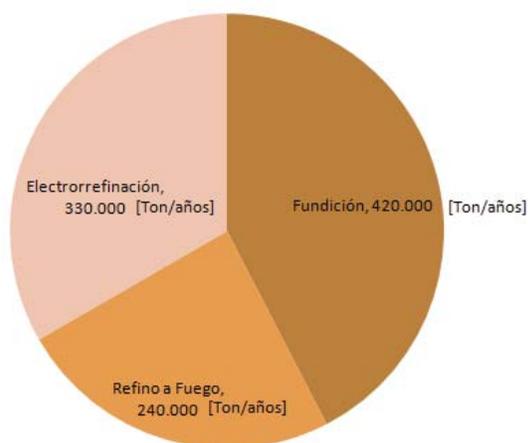


Figura 2: Producción anual

2.1.1 Ubicación

La Fundición y Refinería Ventanas está ubicada en la bahía de Quintero, específicamente en la localidad de Ventanas ver figura, comuna de Puchuncaví, Región de Valparaíso, con una distancia de 50 Km al norte del puerto de Valparaíso y 150 Km al Noroeste de la ciudad de Santiago, ver figura 3 ubicación geográfica.



Figura 3: Mapa Codelco División Ventana

2.2 Organización de la empresa

2.2.1 Organización superintendencia mantenimiento

La Superintendencia de mantenimiento Codelco División Ventanas es la encargada de mantener la continuidad de los procesos operacionales de las plantas, asegurando un buen funcionamiento de los equipos que componen las diferentes áreas, para así alcanzar el objetivo común de satisfacer la demanda de los clientes manteniendo la calidad del producto, todo esto cuidando la seguridad y salud de las personas.

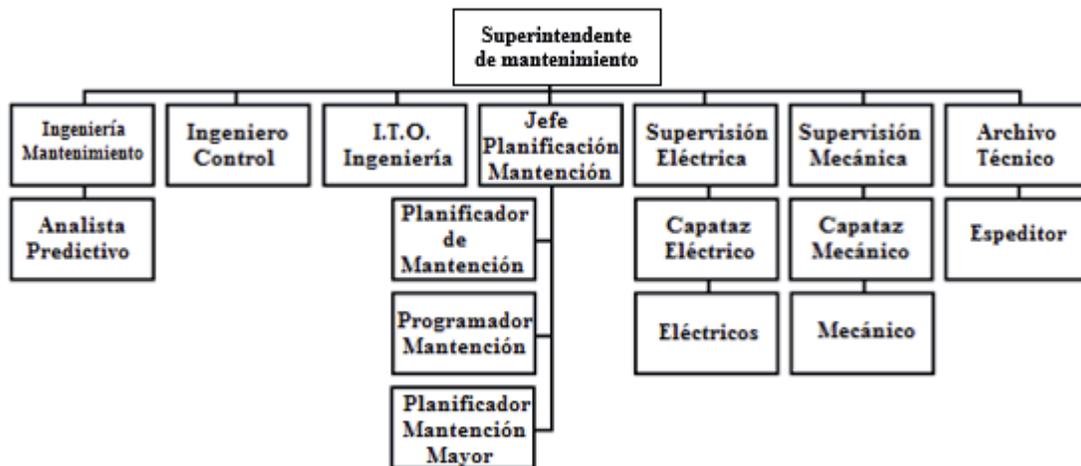


Figura 4: Organigrama Superintendencia de mantenimiento

Para cumplir con su rol dentro de la organización, la Superintendencia de Mantención cuenta con un grupo de trabajo de 61 personas compuestos de profesionales y técnicos, cada uno con competencias específicas y responsabilidades determinadas.

2.3 Misión

Desplegar en forma responsable y con excelencia, toda su capacidad de negocios mineros y relacionados en Chile y en el mundo, con el propósito de maximizar en el largo plazo su valor económico y su aporte al Estado. Codelco llevará a cabo su misión, enfatizando una organización de alto desempeño, la participación, la innovación creativa y el conocimiento de las personas en permanente desarrollo.

2.4 Proceso productivo

El negocio principal de Codelco División Ventanas consiste en la recepción de concentrado de cobre, su fundición y refinación para obtener cátodos del 99,99% de pureza.

Subnegocio	Producto/Servicio
Fundición Fusión	Servicio Maquila Cucons a Metal Blanco
Fundición Conversión	Servicio Maquila Metal Blanco a Cu Blister
RAF.	Servicio Refino a Fuego y Moldeo
Planta de Ácido	Comercialización Ácido Sulfúrico
Refinería	Refinación electrolítica ánodos
Planta de Metales Nobles	Comercialización sulfato de Cobre
	Servicios recuperación de Selenio
	Tratamiento Barro anódico
	Comercialización Teluro
	Comercialización Plata
	Servicio de refinación de Plata
	Comercialización concentrado de Platino y Paladio
	Comercialización Oro
	Servicio Refinación Oro

Tabla 1: Proceso Productos y servicios

Diagrama proceso productivo Codelco División Ventanas figura 5.

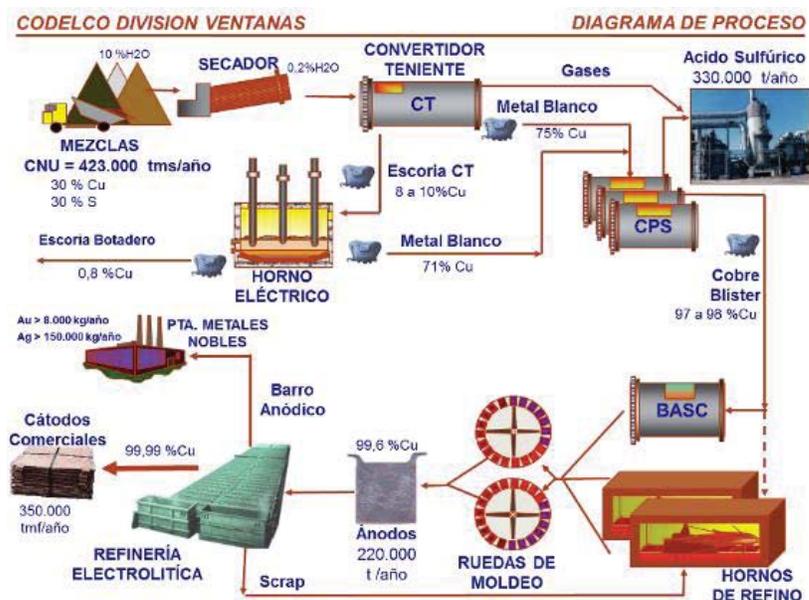


Figura 5: Proceso productivo

2.4.1 Fundición

La fundición consiste en separar, mediante altas temperatura, el cobre del material no útil. Este proceso se realiza en el Convertidor Teniente, para el cual el concentrado húmedo se seca en un secador Rotatorio y luego se funde en el Convertidor Teniente. Figura 6.



Figura 6: Planta de secado

De este proceso resulta el metal blanco o cobre que pasa a la etapa de conversión en reactores Pierce Smith, produciendo cobre blíster de 99 % de pureza.



Figura 7: Área fundición

Otro producto son los gases que se procesa en la Planta de Ácido, para producir ácido sulfúrico. Por último, está la escoria que se procesa en el Horno Eléctrico extrayendo el cobre residual y descartando la escoria con un contenido de cobre inferior al 0,6% en el Escorial.

2.4.2 Electro Refinación

En este proceso se separan las últimas impurezas del cobre refinado a fuego, en 8 y 11 días, el cobre del ánodo se deposita en un cátodo inicial (fina lámina de cobre puro), hasta alcanzar 115 kg de cobre 99,99% de pureza. Este producto, denominado cátodo comercial, se encuentra en condiciones de ser comercializado para su manufactura en la industria nacional o extranjera.

Parte de la impureza obtenidas en la refinación electrolítica forman el barro anódico que al procesarlo en una planta de metales nobres, permite recuperar oro, plata y selenio

2.4.3 Productos Finales

Una vez retirados los cátodos de las celdas electrolíticas, estos pasan a la sección de Productos finales, donde estos son pesados, lavados y se inspeccionan la calidad. Se obtienen tres tipos de

cátodos, los Grado A, Estándar y Rechazados. Los restos de ánodos de la Refinería Electrolítica se devuelven al Refino a Fuego.



Figura 8: Producto final

2.4.5 Planta de ácido

El rol principal que cumple la planta de ácido figura 9, es captar los gases de fundición provenientes de los convertidores, y convertirlos en ácido sulfúrico (H_2SO_4) para evitar así arrojarlos al medio ambiente.

El proceso comienza con la captura de los gases provenientes desde el CT y los CPS, de los cuales sólo uno se encuentra en funcionamiento a la vez. Estos gases son conducidos a la planta de ácido mediante ductos ubicados sobre los convertidores, los guían al gas hacia los precipitadores electrostáticos (Grupo 1). La planta de ácido cuenta con tres de estos equipos, dos de marca FLEK, y uno marca MILJO. Su función es capturar las partículas metálicas y de mayor peso presentes en los gases. Las temperaturas en estos equipos deben fluctuar entre los 350 y 400°C para su buen funcionamiento, pues si trabajan a temperaturas bajo las recomendadas pueden admitir niveles de humedad que faciliten la obstrucción de los equipos, así como temperaturas por sobre los 400°C ponen en riesgo los equipos por severas deformaciones térmicas. Una vez separadas las partículas más pesadas de los gases, lo que sigue

es el lavado de los gases. Para esto, los gases son impulsados por tres ventiladores de tiro inducido hacia el Grupo 2 de la planta, que es donde se realiza el lavado de éstos. Una vez en el Grupo 2, los gases entran a la torre de lavado K1, donde pasan a contraflujo por ácido al 30% inyectado por toberas. Al salir de esta torre, el gas posee una temperatura del orden de los 79°C. Además, el ácido en esta concentración es capaz de capturar el arsénico presente en los gases. Luego de este primer lavado los gases pasan por un filtro donde son liberados del selenio y el mercurio presente.

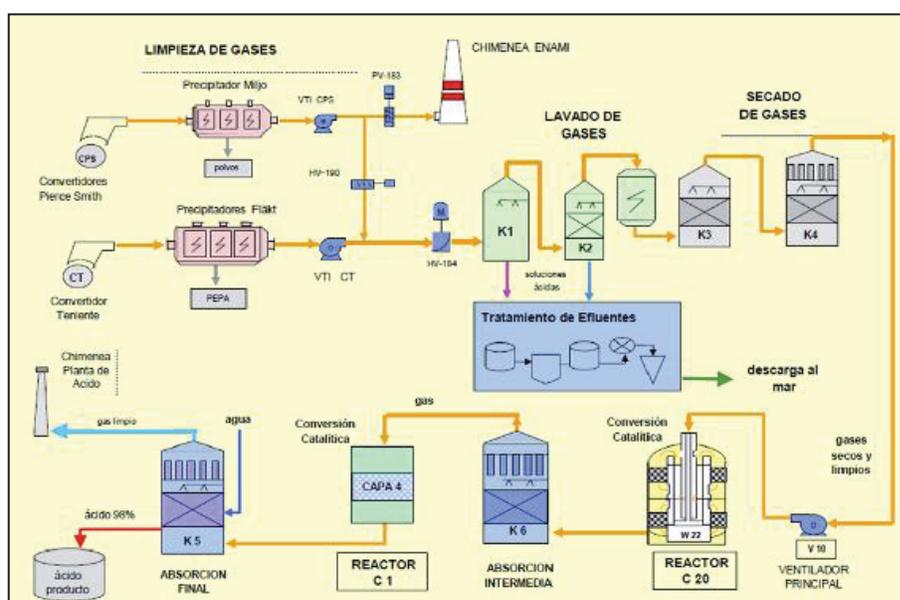


Figura 9: Proceso Planta de ácido

Posterior a este proceso, las torres de lavado K2 y K20 se encargan de eliminar, mediante el lavado con ácido al 1%, el yodo, cloro y flúor de estos. La torre K2 realiza el lavado de aproximadamente 2/3 de los gases, mientras que la K20 el 1/3 restante. Por la temperatura que alcanza el ácido al salir de este proceso, es necesario que sea enfriado mediante el uso de intercambiadores de calor de placas, de los cuales tres están destinados a la K2 y el tercero restante a la K20. En la última etapa del proceso de lavado, los gases pasan por unos precipitadores húmedos, donde las últimas partículas presentes en los gases son eliminadas, además de eliminar la neblina ácida, producida por la evaporación del agua en los procesos anteriores.

Luego viene el proceso de secado de los gases, el cual es realizado en el Grupo 3 de la planta de ácido, el grupo más crítico y de mayor atención para el presente informe. Acá, se retira la humedad remanente de los gases salientes de la fase de lavado; para tal efecto, los gases circulan por 2 torres de secado o absorción. La primera en el proceso es la denominada K3, en donde los gases son rociados con ácido al 80%, concentración que le permite atrapar la humedad circundante en los gases y así “secarlos”. En esta torre son secados aproximadamente el 90% de los gases. El resto de los gases son secados en la torre de post secado, denominada K4, en donde se rocía los gases con ácido al 90%. A la salida del sector de secado, la humedad que aún puede permanecer presente en los gases es prácticamente despreciable.

Finalmente, el proceso de convertir los gases con alto contenido de SO₂ en SO₃ para luego convertirlos en ácido sulfúrico (H₂SO₄), se efectúa en el grupo conocido como Grupo 4 o Grupo de Conversión. Para lograr esta transformación, se introducen los gases en las torres catalizadoras C1 y C20. Esto se logra con la ayuda del ventilador V-10, el cual es el responsable de la succión de todos los gases hacia la Planta de Ácido. Se hace reaccionar al SO₂ con O₂ para así obtener SO₃, el cual es enviado a las torres convertidoras K5 y K6 donde es rociado con ácido al 99%. La interacción entre el SO₃ y el ácido concentrado da lugar a la obtención del producto final H₂SO₄, es decir, ácido sulfúrico que es almacenado en el estanque B6 para luego ser enviado a Despacho, donde finalmente es comercializado ya sea transportado en camiones o buques.



Figura 10: Planta de ácido

2.5 Servicios de mantención

El departamento de mantención, como prestador de servicios al área de operaciones, debe encargarse de que los activos que están presentes en las plantas se encuentren en óptimas condiciones para su correcta operación. Los servicios ofrecidos se encuentran englobados en los siguientes tipos de mantenimiento.

2.5.1 Mantenimiento preventivo

Servicio de mantenimiento que busca a través de distintas acciones planificadas, evitar las fallas de los equipos, estas se realizan independientemente de la condición del activo al momento de la intervención. Estos trabajos consisten en inspecciones, lubricación, limpieza.

2.5.2 Mantenimiento predictivo

Servicio de mantenimiento que busca a través de distintas acciones planificadas, evitar las fallas de los equipos, estas se realizan de acuerdo a resultados obtenidos de mediciones de parámetros físicos, actualmente se realizan análisis de vibración y termografía y medición de espesores, además de inspecciones visuales rutinarias a equipos mientras se encuentran en operación.

2.5.3 Mantenimiento correctivo

Servicio de mantenimiento que busca corregir las fallas en los equipos mediante diferentes acciones que dependen del tipo de falla presentado, siendo el más común cambio de componentes.

2.5.4 Mantenimiento mayor

Servicio de mantenimiento que busca a través de una planificación a mediano y largo plazo, intervenir equipos o realizar trabajos que no se puedan realizar durante el tiempo de operación normal de la planta y/o que requieran de un periodo de mantención prolongado.

2.6 Proceso de mantenimiento rutinario

El proceso de mantenimiento rutinario en la planta Codelco División Ventanas cuenta con seis pasos, de modo que una tarea de mantenimiento no puede considerarse exitosa si no ha completado cada uno de estos procedimientos.

2.6.1 Notificación

Es el paso inicial de la actividad de mantenimiento, las notificaciones pueden ser realizadas por los distintos actores de la planta, tales como el equipo de mantenimiento predictivo, por operaciones, por mecánicos, entre otros.

La notificación debe contener una descripción detallada del motivo por la cual ha sido creada y el proceso o equipo involucrado.

2.6.2 Selección de tareas

Luego de ser realizada la notificación, esta es analizada en reuniones diarias lideradas por el planificador, donde se desechan notificaciones que no cumplan con los estándares mencionados en el punto anterior, para que sean corregidas. Aquellas que cumplan con los requerimientos, deben ser programadas de acuerdo a un cuadro de decisión Figura 11.

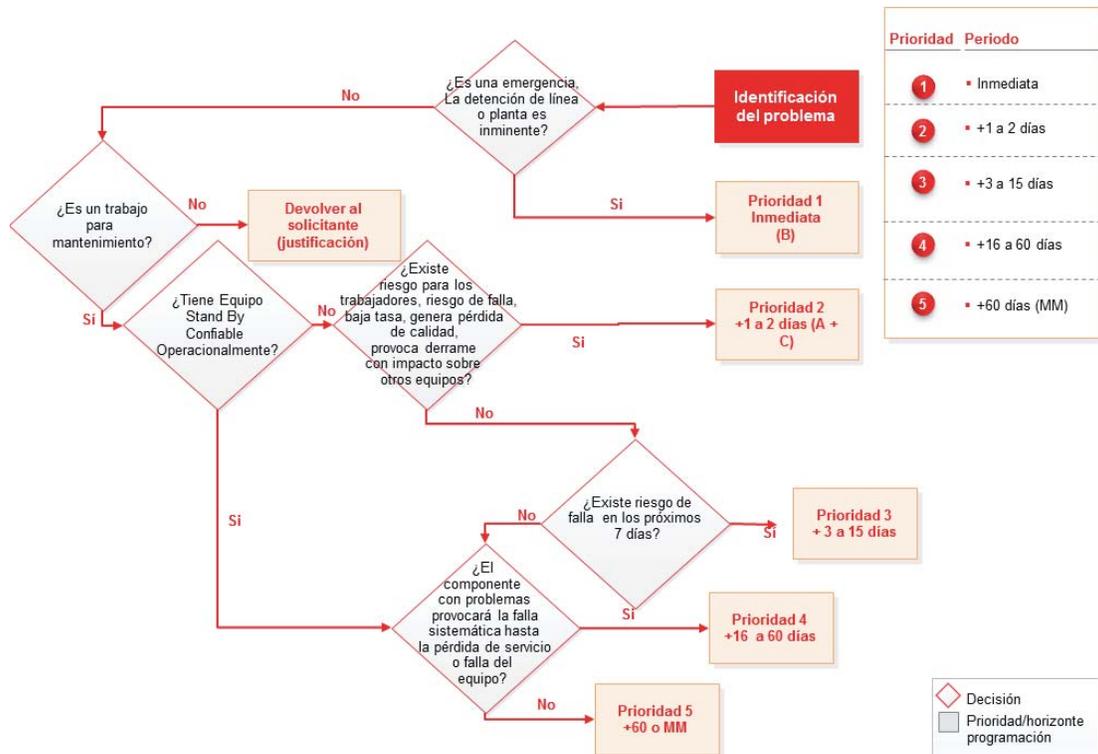


Figura 11: Árbol de priorización para órdenes de trabajo.

2.6.3 Planificación de tareas

El proceso continúa con la planificación de tareas, en donde el planificador de turno realiza la obtención de recursos, herramientas y materiales necesarios para poder concretar las tareas de ejecución de manera óptima de acuerdo al nivel de prioridad.

2.6.4 Programación de tareas

Consiste en la asignación de una franja de tiempo para que se ejecute la actividad mediante una orden de trabajo (OT) de acuerdo con el nivel de prioridad definido, esto se realiza por el programador de turno y el plazo se debe acordar con operaciones para la intervención del equipo.

2.6.5 Ejecución de tareas

Consiste en la ejecución de las tareas según el plan de trabajo, estas son realizadas por técnicos especialistas, a cargo de su respectivo supervisor.

2.6.6 Actividades preventivas

Las estrategias de mantenimiento preventivo para los equipos de la Planta de ácido se encuentran en el Plan Matriz de Mantenimiento los que se registra en SAP. Este Plan registra una gran cantidad de pautas de mantenimiento, asociadas a una cantidad de hora-hombre (HH) estimada para la ejecución de cada tarea y la frecuencia de la mantención.

3 Marco teórico

3.1 Análisis de criticidad

Para el modelo de gestión presentado, específicamente en la etapa de desarrollo, se contemplan las técnicas de jerarquización de los activos de producción según criticidad, las cuales convengan en la identificación de aquellas áreas, equipos y/o componentes que impacten negativamente en la productividad (orden de prioridad). Esta información es el input para el proceso de identificación de las causas raíces de los problemas priorizados, proceso que busca prevenir y/o eliminar los eventos que generan impacto. Para esto existe la técnica de análisis causa raíz RCA, utilizada para identificar las causas fundamentales que originan las fallas o problemas recurrentes.

La problemática de jerarquización de activos ya ha sido analizada incluso a nivel normativo. La norma ISO/DIS 14224 clasifica modos de falla según el nivel de interrupción que estos presentan en el cumplimiento de la función productiva el elemento bajo análisis, se clasifican también según mecanismo de falla. También establece directrices para analizar modos de falla según tipo de detección de la falla, clasificándose por ejemplo en detección por inspección,

correctiva, por calendario, detección a pedido. Más aún, se establece algunos parámetros para jerarquizar activos, asociados a redundancias, consecuencia de falla, disponibilidad de equipos, tasa de falla, mantenibilidad, y tiempos medio de operación.

Para esta clase de normas, la etapa más relevante en la jerarquización de activos es el ranking de éstos en función de la severidad de la consecuencia de falla previamente clasificadas. Una herramienta muy considerada es el FMECA.

Entrando en la jerarquización/priorización misma de los activos, ésta permite abordar la problemática de la criticidad de equipos, y determinar así, aquel o aquellos elementos que impactan de mayor manera la destrucción del negocio al estar en falla. Una adecuada jerarquización permitirá, a través del análisis de seguridad de funcionamiento, establecer mejoras a nivel de redundancia y generación de políticas de mantención para la planta.

Las herramientas/técnicas de jerarquización permiten obtener el grado de criticidad de un activo para un contexto determinado. Éstas se clasifican en diversos tipos, según su naturaleza a modo de ejemplo éstas pueden ser de tipo cuantitativo/cualitativo, numérico/gráfico, de programación matemática, multicriterio/unicriterio, etc. Además, cada una considera diversas variables para su operación, confiabilidad (MTBF), mantenibilidad (MTTR), indisponibilidad (D), cantidad de máquinas, configuración de equipos, condiciones del entorno, riesgo del proceso, repercusiones de la falla en los costos globales, combinaciones entre éstas, etc. Con esto se observa que la cantidad de herramientas/técnicas utilizadas en la jerarquización de activos es considerable, donde cada una presenta ventajas y desventajas acorde a las condiciones de operación para cada caso.

Los problemas en la toma de decisiones son un problema de evaluación. Este problema puede ser solucionado utilizando herramientas que puedan basarse, por ejemplo, en técnicas de descarte, proceso de jerarquía analítica, técnicas multiatributo, programación matemática, asignación de número de prioridad de riesgo/criticidad, matrices de decisiones, curva de iso-indisponibilidad de los equipos, entre otras.

La finalidad de estas herramientas radica en estandarizar y simplificar el proceso de identificación de los equipos críticos, con el objetivo de generar un adecuado plan de acción en

el área de mantenimiento, a través de proyectos o bien a nivel de gestión. A continuación, se presenta dos herramientas a utilizar en el desarrollo de este estudio.

3.1.1 Pareto

El análisis de Pareto, o análisis 80-20, conceptualmente corresponde a una técnica de priorización de decisiones fundamentada en el principio de “Pocos vitales, muchos triviales”. Se refleja su funcionalidad en la priorización de los elementos más críticos al interior de un sistema.

Esta herramienta es de tipo gráfico evalúa variables como modo de falla, tipo de equipo, pieza, etc. En contraposición con elementos cuantitativos, como efectos de dicho elemento sobre los costos del sistema, los cuales pueden venir asociados a costos globales, costos ineficiencia o tiempo fuera de servicio.

El mecanismo de evaluación de criticidad considera las siguientes etapas/pasos en su elaboración:

1. Formar una lista de los equipos/componentes/modo de falla, con sus respectivas frecuencias de falla y tiempo fuera servicio, como porcentaje del total del tiempo.
2. Ordenar cada elemento en orden de importancia decreciente, desde el de mayor repercusión sobre el negocio a aquel que presenta menor repercusión.
3. Añadir una columna adicional con el tiempo fuera de servicio acumulativo asociado al elemento en cuestión.
4. Graficar los equipos o modo de falla en el eje de las abscisas y los porcentajes acumulativos en el eje de las ordenadas.
5. Unir los puntos acumulativos por una curva.
6. Dibujar en el mismo diagrama un gráfico de barras con los equipos/componentes/modos de falla en el eje de las abscisas y las frecuencias porcentual en el eje de las ordenadas.
7. Dibujar una línea en el 80% en el eje de las ordenadas hasta que se intercepte con la curva de porcentaje acumulados. Después dejar caer trazo hasta que choque con el eje

de las abscisas. Este punto separa los equipos/componentes (modos de falla más importante hacia la izquierda, y menos importantes hacia la derecha.

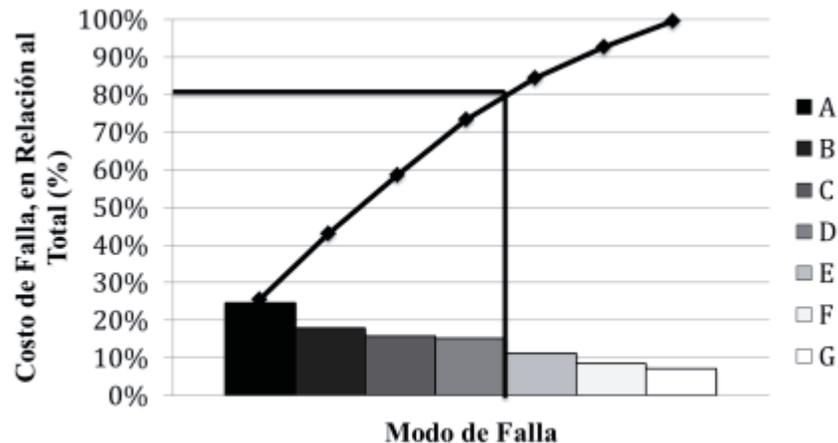


Figura 12: Diagrama de Pareto

En la figura 12 se presenta el diagrama de Pareto, donde se visualiza, para este ejemplo, que los modos de falla con mayor repercusión son A, B, C y D, ya que sus costos de falla representan el 80% del total de dichos costos. Por lo tanto, se deberá priorizar la mantención en estos modos de falla.

Cabe recalcar que este análisis puede ser realizado para modos de falla en contraste a tiempo medio reparación, equipos V/S costo de ineficiencia, componente en relación a tiempo medio de reparación, o combinaciones entre variables, de entre las cuales se pueden mencionar costo de reparación, costo de falla, tiempo fuera servicio, cantidad de detenciones, entre otras.

Existen beneficios en la utilización de este tipo de diagrama, como fácil comprensión y manejo de datos. No obstante, esta técnica también presenta severas desventajas en su utilización, por ejemplo:

- ✓ El modelo puede ser construido solo con un atributo a la vez (herramienta de tipo unicriterio), de manera que, si se quisiera evaluar muchos factores, se obtienen

diagramas distintos, con distintos equipos críticos. En consecuencia, el análisis se torna mucho más complejo para un solo elemento.

- ✓ El diagrama de Pareto, además, se basa en diferentes elementos para la cuantificación del grado de destrucción del negocio (criticidad), es decir, para diagramas distintos se hace difícil determinar cuál de todos los factores impacta más negativamente en el proceso productivo.

3.1.2 Análisis de dispersión Jack Knife

El método de análisis Jack Knife corresponde a un estudio de análisis de criticidad de tiempo multi-criterio, con distintas variables involucradas, asociadas a modos de falla, equipos o sistemas. Entre éstas es posible encontrar algunas como frecuencias de ocurrencia de fallas (tasa de falla promedio), tiempo medio entre falla (MTBF), tiempo medio de reparación (MTTR), por nombrar algunas.

El mecanismo en si, corresponde a un diagrama en dos o más dimensiones, donde cada una de éstas corresponde a una variable de estudio. En el caso de trabajar con frecuencia y tiempo medio reparación, en el grafico se trazan líneas de referencia que denotan la frecuencia promedio y el tiempo promedio de los modos de falla, generando cuatro cuadrantes. Los modos de falla ubicados en el primer cuadrante son aquellos que poseen una frecuencia mayor al promedio (crónicos) y un tiempo fuera de servicio mayor al promedio (agudos), por lo que son candidatos importantes en la escala de criticidad. Adicionalmente, se puede trazar recta de iso-indisponibilidad, identificando los modos de falla que generar una indisponibilidad mayor a la planteada/esperada. Para esto, por lo general se utilizan escala logarítmica, de tal forma que las líneas de iso-indisponibilidad (D) sean rectas.

Antes de entrar a detallar el gráfico, se definen algunas de las variables que se incluyen en el modelo.

1. MTTR: tiempo medio en el cual se vuelve a restablecer la función productiva de un determinado componente. En estricto rigor, corresponde a la media de la mantenibilidad de un componente.
2. Frecuencia de fallas (f_j): Media de fallas, asociadas al modo de falla j durante un intervalo de tiempo dado, se miden en [fallas/tiempo]
3. Número de intervenciones (N_j): Cantidad de veces que se hace necesario intervenir un equipo frente al modo de falla j .
4. MTBF: tiempo medio entre falla. Corresponde al recíproco de la frecuencia de falla $1/f_j$ y se mide en [tiempo/falla].
5. Indisponibilidad (D_i): Frecuencia ponderada de fallas multiplicada por el MTTR. Es la fracción de tiempo bajo la cual el elemento se encuentra fuera de servicio. Se miden %.
6. Número total de fallas en el sistema (N): Sumatoria de todas las fallas asociadas a cada modo de falla en el sistema.

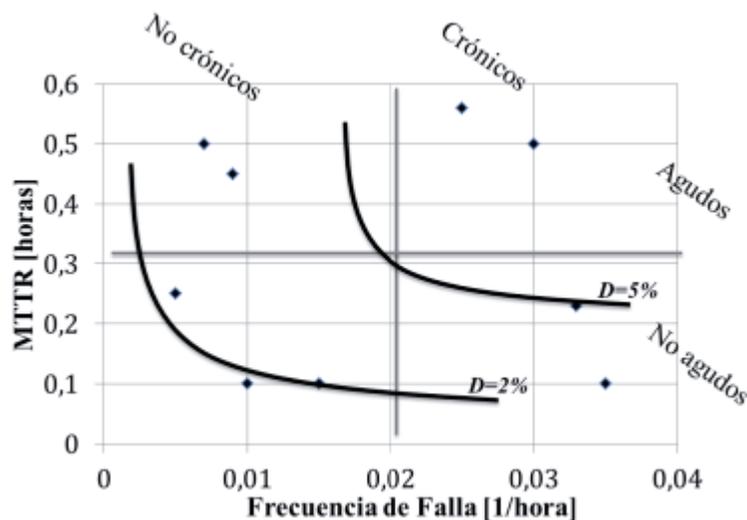


Figura 13: Método Jack Kanife

Es posible también trabajar en escalas logarítmica, linealizando las curvas de iso-indisponibilidad para simplificar el análisis.

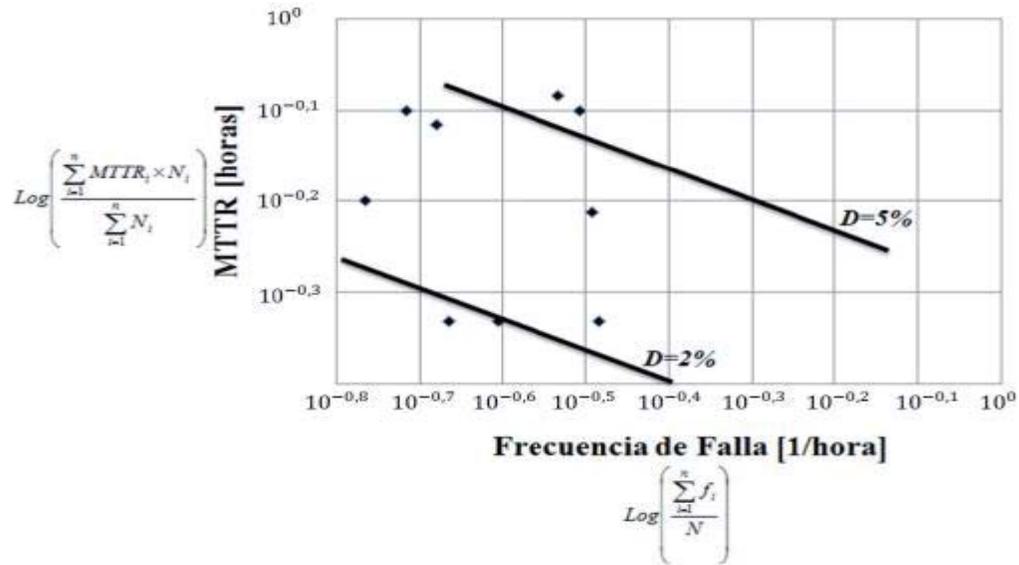


Figura 14: Método Jack Kanife – escala logarítmica

Donde:

f_i : Frecuencia de intervención del modo de falla i.

$MTTR_i$: Tiempo medio de intervención para el modo de falla i.

N_i : Número de intervenciones del modo de falla i.

$\log\left(\frac{\sum_{i=1}^n f_i}{N}\right)$: Media de la frecuencia de intervención de los N modos de falla, escala logarítmica

$\log\left(\frac{\sum_{i=1}^n MTTR_i * N_i}{N}\right)$: Tiempo medio de reparación para los N modos de falla, escala logarítmica.

Las propuestas de mejora, según distribución de los modos de falla/equipos/subsistemas en el gráfico, darán la pauta para enfrentar el problema desde el punto de vista de la confiabilidad, producto de la alta frecuencia de intervención, o bien desde la mantenibilidad, dados los altos tiempos medios de reparación. Ya que éstas son las variables que determinan criticidad bajo las perspectivas de esta técnica.

3.2 Failure modes, effects and criticality analysis (FMECA)

El FMECA es una variación del FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) que incorpora elementos asociados a la severidad de la falla de un componente/equipo. Esta herramienta busca entender el mecanismo de las fallas sistemáticas, en orden para identificar potenciales debilidades, aún si se ve que existe un buen funcionamiento. En términos simples, FMECA consiste en un análisis sistemático de modos de falla, sus causas, efectos y criticidad.

El FMEA/FMECA es llevado a cavado por su diseñador, en conjunto con el equipo de ingenieros en confiabilidad. Es un mecanismo fácil de comprender, pero puede consumir mucho tiempo cuando se trata de equipos y sistemas complejos, por esta misma razón es recomendable enfocar en los elementos a priori más críticos en el sistema.

La estructura general y pasos básicos para construir esta técnica son los siguientes:

1. Entender misión, operación y estructura del sistema bajo análisis
2. Identificar la estructura y nivel de profundidad con que el análisis será llevado a cabo.
3. Identificar cada elemento a analizar (subsistemas, instalación, módulos, partes, etc).
4. Establece reglas y convicciones pertinentes
5. Identificar los posibles modos de falla en el elemento bajo análisis (todos los modos de falla deben ser considerados)
6. Identificar las posibles causas para los modos de falla asumidos en (5)
7. Describir los síntomas que caracterizan las presencias de los modos de fallas asumidos en (5), y su efecto local (relaciones con inputs/outputs, posibilidades de fallas secundarias, etc).
8. Identificar las consecuencias de los modos de fallas asumidos en (5) en el siguiente nivel de integración y en la misión y operación de sistema.
9. Identificar medidas mitigadoras de falla o acciones correctivas que puedan disminuir o eliminar la severidad de modo de falla en cuestión, así como también disminuir la probabilidad de ocurrencia o asegurar la continuidad operacional del sistema en caso de que se presente este modo de falla.
10. Identificar posibilidades para evitar el modo de falla visto en (5)

11. Evaluar la severidad del modo de falla (I) menor, (II) mayor, (III) crítico, (iv) catastrófico (también puede ser analizada en función de pérdidas económicas, daños ambientales, etc).
12. Estimar la probabilidad de ocurrencia del modo de falla visto en (5).

El FMECA adquiere particular importancia en procesos donde se busca una lógica de falla (disminución del impacto de la falla al conocer sus características) y en todos los elementos donde exista redundancia (para verificar su efectividad de la redundancia). Para resumir, éste posee las siguientes ventajas y características:

- ✓ Facilidad de comprensión
- ✓ Útil herramienta al identificar posibles modos de falla y sus efectos en la misión, el sistema y el personal.
- ✓ Utilidad para hacer comparaciones en la etapa de diseño del proceso.
- ✓ De fácil visualización para los niveles gerenciales.
- ✓ Utilidad al generar data para aplicación de análisis de seguridad de funcionamiento.
- ✓ Método sistemático para clasificar los tipos de falla.
- ✓ Capaz de analizar de manera efectiva sistemas pequeños, grandes y complejos.
- ✓ Comienza desde el nivel de mayor detalle hacia el nivel más general.
- ✓ Herramienta efectiva para mejorar los canales de comunicación en el personal encargado del diseño del proceso.

Supóngase el siguiente ejemplo, donde se analizan los modos de falla para un sistema de circulación de agua para enfriar aire sobrecalentado. La planilla FMECA se adjunta en la tabla 2.

FAILURE MODES, EFFECTS AND CRITICALITY ANALYSIS (FMECA)										
SISTEMAS: Refrigeración aire recirculación.										
PARTE: Suministro de agua										
MISIÓN: Mantener caudal y temperatura del agua en condiciones requeridas.										
N°	Elemento, función	Modo de falla	Causas posibles	Síntomas, efectos locales	Efecto en la misión	Método de detección	Provisión para evitar modo de falla	Severidad de la falla	Probabilidad de ocurrencia	Comentarios y sugerencias
1.1		Suministro de agua a más de 25° C	Ventilador en falla.	Agua con temperatura elevada. No es removido suficiente calor.	Aumento en la temperatura del aire no significativo	Sensor de temperatura, análisis del agua.	Indicadores conectados al panel de control.	III	Baja.	Si se revientan las tuberías hay contaminación de fluidos.
1.2		Suministro de agua a menos de 25° C	Ventilador no se apaga	Exceso de enfriamiento apreciado.	Enfriamiento menos eficiente y mayor utilización de energía	Alarma con sensor de temperatura.	Indicadores conectados al panel de control.	I	Muy baja.	
1.3		Suministro de agua a menos de 1000 GPM.	Bomba a bajo rendimiento	La bomba no es capaz de impulsar al caudal y presión.	Aumento en la temperatura del aire no significativo.	Sensor de caudal/presión en la tubería.	Indicadores conectados al panel de control.	II	Media.	
1.4		Sin suministro de agua.	Tubería rota.	Exceso de consumo de agua, estancamiento	La temperatura del aire aumentara por sobre los límites permitidos.	Sensor de caudal/presión en la tubería.	Indicadores conectados al panel de control.	IV	Baja.	Amenaza a la seguridad se revienta la tubería.
1.5			Bloqueo en la tubería o falla en la bomba	No hay flujo de agua en el sistema.	La temperatura del aire aumentara por sobre los límites permitidos	Sensor de caudal/presión en la tubería.	Indicadores conectados al panel de control.	III	Media.	En el caso de bloqueo, puede haber disponibilidad de una tubería en paralelo.

Tabla 2: Ejemplo desarrollo FMECA

4 Sistema mantenimiento actual planta de acido

En la actualidad existe un plan base que contiene estrategia de mantención para todos los activos de planta, estas actividades se realizan de acuerdo a criticidad.

		PROGRAMA SEMANAL PREVENTIVO																							
		Turno																							
		44	39	44	39	44	39	44	39	44	39	44	39	44	39	44	39	44	39	44	ID MP	NOMBRE DE MP	PLAN DE TRABAJO		
PLANTA	FRECUENCIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21			
P. ACIDO	SEMANTAL	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	MP021GEN00002	MP MANTENCIÓN SEMANAL ELECTRICA GRUPOS GENERADORES PLANTA	FT21E004GEN
P. ACIDO	SEMANTAL	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	MP121SALELEC11	MP OT MADRE REALIZAR RUTA DE INSPECCION DIARIA SALA COMPRESORES, SE	FT21E001SEL2
P. ACIDO	SEMANTAL	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	MP121ALELEC05	ORDEN Y ASEO TALLER MANTENCIÓN ELECTRICO, TURNO DIA (OT SEMANAL)	FT012ICAF000
P. ACIDO	SEMANTAL	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	MP121ALELEC09	MP TRABAJOS RUTINARIOS DIARIOS SALAS ELÉCTRICAS (BLOQUEOS, DESBLOQUEO	FT21E001SEL
P. ACIDO	SEMANTAL	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	MP121SALELEC10	MP TRABAJOS RUTINARIOS EN SALAS ELÉCTRICAS (BLOQUEO Y DESBLOQUEO EQ	FT21E001SEL
P. ACIDO	SEMANTAL	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	MP012ICMA00001	MP SOPLADO PANEL DE CONTROL MAGNETO	FT21E002PNC
P. ACIDO	TRIMESTRAL	X	X	X																			MP0221ALU00001	MP REVISIÓN Y/O REPOSICIÓN DE TUBOS FLUORESCENTES	FT21E003ALU
P. ACIDO	5 SEMANAS	X	X	X																			MP012IMTR20173	MP OT MADRE REVISIÓN ELECTRICA MOTORES BOMBAS CENTRIFUGAS PLANTA	FT21E004MTR
P. ACIDO	SEMANTAL	X	X	X																			MP012IMTR20174	CANCELAR OT MOTORES QUE NO REQUIERAN MANTENCIÓN MP OT MADRE REVI	FT21E004MTR
P. ACIDO	TRIMESTAL	X											X										MP022ICOP00001	Mantenion Preventiva Electrica Colector de Polvo Carbonato	FT21E001COP
P. ACIDO	TRIMESTAL	X											X										MP012IPNC00002	SIN TAG, MANTENCIÓN ELECTRICA DE PANEL DE CONTROL TK PETROLEO DIARIO	FT21E002PNC
P. ACIDO	SEMANTAL	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	MP012IPNC00019	083-PNL-045; MANTENCIÓN SEMANAL ELECTRICA DE PANEL DE CONTROL COMP	FT21E002PNC
P. ACIDO	SEMANTAL	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	MP012IPNC00029	091-PNL-036; MANTENCIÓN ELECTRICA DE PANEL DE CONTROL OPERACIONES CO	FT21E002PNC
P. ACIDO	SEMANTAL	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	MP012IPNC00031	085-PNL-189; MANTENCIÓN SEMANAL DE PANEL DE CONTROL OPERACIONES FILT	FT21E002PNC
P. ACIDO	SEMANTAL	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	MP012IPNC00032	085-PNL-207; MANTENCIÓN SEMANAL DE PANEL DE CONTROL OPERACIONES FIL	FT21E002PNC
P. ACIDO	SEMANTAL	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	MP012IPNC00035	SIN TAG, MANTENCIÓN ELECTRICA DE PANEL DE CONTROL ESTANQUE AGUA POT	FT21E002PNC
P. ACIDO	SEMANTAL	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	MP012IPNC00061	SIN TAG, MANTENCIÓN ELECTRICA DE PANEL DE CONTROL 2IPNC00061 UNIDAD H	FT21E002PNC
P. ACIDO	SEMANTAL	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	MP012IPNC00085	SIN TAG, MANTENCIÓN ELECTRICA DE PANEL DE CONTROL 2IPNC00085, VIBRADO	FT21E002PNC
P. ACIDO	SEMANTAL	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	MP012IPNC00086	SIN TAG, MANTENCIÓN ELECTRICA DE PANEL DE CONTROL 2IPNC00086, VIBRADO	FT21E002PNC
P. ACIDO	SEMANTAL	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	MP012IPNC00090	SIN TAG, MANTENCIÓN ELECTRICA DE PANEL DE CONTROL 2IPNC00090, VIBRADO	FT21E002PNC
P. ACIDO	SEMANTAL	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	MP012IPNC00093	SIN TAG, MANTENCIÓN ELECTRICA DE PANEL DE CONTROL 2IPNC00093, VIBRADO	FT21E002PNC
P. ACIDO	SEMANTAL	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	MP012IPNC00095	SIN TAG, MANTENCIÓN ELECTRICA DE PANEL DE CONTROL 2IPNC00095, (2VIBRADO)	FT21E002PNC
P. ACIDO	SEMANTAL	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	MP012IPNC00097	SIN TAG, MANTENCIÓN ELECTRICA DE PANEL DE CONTROL 2IPNC00097, ACEITE R	FT21E002PNC
P. ACIDO	SEMANTAL	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	MP012IPNC00098	085-PNL-028; MANTENCIÓN ELECTRICA DE PANEL DE CONTROL 2IPNC00098, TRAN	FT21E002PNC
P. ACIDO	SEMANTAL	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	MP012IPNC00099	080-PNL-006; MANTENCIÓN ELECTRICA DE PANEL DE CONTROL 2IPNC00099 DE TR	FT21E002PNC
P. ACIDO	SEMANTAL	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	MP012IPNC00100	SIN TAG, MANTENCIÓN ELECTRICA DE PANEL DE CONTROL 2IPNC00100, TRANSPT	FT21E002PNC

Tabla 3: Programa semanal Mantenimiento Planta de ácido

La planta actualmente posee alrededor de 80 equipos rotativos, los cuales cuentan con un programa de mantención. Sin embargo, para lograr los objetivos impuestos por la corporación en pos de aumentar la competitividad en el mercado, de dar una completa seguridad a los trabajadores y de estar en sintonía con el medio ambiente, se hace necesario mejorar índices de mantenibilidad, confiabilidad y disponibilidad entre otros, ampliando y mejorando la gestión actual de mantenimiento. Dentro de este contexto se encuentra inserto el monitoreo continuo y actualización de planes de mantenimiento en equipos críticos, que es el fin del presente estudio. Para saber qué factores se deben modificar, crear o eliminar, es necesario revisar la forma en que hoy en día se realiza el monitoreo y análisis de los equipos en esta planta. En la actualidad existe un total de 14 actividades realizadas con distintas frecuencias, estas actividades se distribuyen por especialidad, eléctrica, mecánica y predictivo.

		PROGRAMA SEMANAL PREVENTIVO																						
		Turno																						
		44	39	44	39	44	39	44	39	44	39	44	39	44	39	44	39	44	39	44	39	44	ID MP	NOMBRE DE MP
PLANTA	FRECUENCIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21		
P.ACIDO	BI-SEMANAL		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		MP0221PNC00069	MP INSPECCION TERMOGRAFICA TABLEROS ELECTRICOS
P.ACIDO	SEMANAL	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	MP012IMEC00001	MP_RUTA N1 DE MANTENCIÓN PREVENTIVA SEMANAL M
P.ACIDO	TRIMESTRAL				X													X					MP012IMEC00003	MP_RUTA N3 DE MANTENCIÓN PREVENTIVA TRIMESTRAL
P.ACIDO	SEMANAL	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	MP21M10ICOR	LUBRICACIÓN E INSPECCION MECÁNICA DE SISTEMA MOT
P.ACIDO	3 SEMANAS	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	MI-002-30D	MP ANALISIS VIBRACIONES_BOMBAS
P.ACIDO	3 SEMANAS		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		MI-003-30D	MP ANALISIS VIBRACIONES_AGITADORES
P.ACIDO	3 SEMANAS	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	MI-004-30D	MP ANALISIS VIBRACIONES_BOMBAS DE VACÍO
P.ACIDO	3 SEMANAS		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		MI-005-30D	MP ANALISIS VIBRACIONES_TORNILLO
P.ACIDO	3 SEMANAS	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	MI-006-30D	MP ANALISIS VIBRACIONES AREA SECA
P.ACIDO	3 SEMANAS		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		MI-007-30D	MP ANALISIS VIBRACIONES AREA MICRONIZADO
P.ACIDO	3 SEMANAS		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		MI-008-30D	MP ANALISIS VIBRACIONES AREA CEMIZA DE SODA
P.ACIDO	3 SEMANAS		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		MI-009-30D	MP ANALISIS VIBRACIONES_BOMBAS
P.ACIDO	3 SEMANAS		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		MI-010-30D	MP ANALISIS VIBRACIONES_AGITADORES
P.ACIDO	3 SEMANAS	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	MI-011-30D	MP ANALISIS VIBRACIONES_TORNILLOS

Tabla 4: Planes Preventivos y Predictivos- Mantenimiento Planta de ácido

Estos planes de inspección de equipos rotatorios para el área predictiva con frecuencia Bi-Semanal y cambios preventivos de componentes con frecuencia anual.

4.1 Análisis de criticidad actual

La categoría de estos equipos se hace en base al “Valor Esperado de Pérdida”, el cual representa la magnitud de la pérdida probable que se podría producir en caso de ocurrir algún hecho indeseado, establecido según la probabilidad de falla de algún equipo y la consecuencia que ésta traería, como se muestra en la figura:

$$VEP = Probabilidad \times Consecuencia$$

Como se trabajará con el Valor Esperado de Pérdida, se establecen 2 tablas: tabla 5 con valores de Probabilidad, y tabla 6 con valores de Consecuencia, las cuales serán la base para el estudio de criticidad de los equipos. A continuación, se muestran las tablas:

Probabilidad			
Item	Tipo	Criterio	Valor
I	Frecuente	Sucedan gran parte de las veces	4
II	Ocasional	Puede suceder algunas veces	3
III	Baja	Puede suceder alguna vez	2
IV	Remota	Es casi imposible que suceda	1

Tabla 5: Probabilidad de falla

Consecuencia			
Item	Tipo	Efecto	Valor
I	Muy grave	Incapacidad permanente; daño medio ambiente; daño en instalaciones y perdida considerable en producción	4
II	Grave	Múltiples lesionado, incapacidad temporal; contaminación severa medio ambiente; daños menores en instalaciones y perdidas de producción parcial	3
III	Moderado	Lesiones menores, probables efectos contaminantes en medio ambiente; perdida controladas de producción.	2
IV	Leve	Sin Lesiones de consideración; contingencia controlable de peligros medioambientales; sin pérdida significativa de producción.	1

Tabla 6: Consecuencia de falla

Al quedar establecidos los parámetros de probabilidad y consecuencia, el paso siguiente es crear la matriz de criticidad tabla 7, la cual resulta de la multiplicación de estos parámetros. Esta matriz es la base para evaluar los equipos que dentro de la planta resultan ser los más necesarios para realizar un monitoreo en tiempo real.

Matriz de Criticidad

		Probabilidad			
		Siempre	Ocasional	Baja	Remota
Consecuencia	Muy grave	16	12	8	4
	Grave	12	9	6	3
	Moderado	8	6	4	2
	Leve	4	3	2	1

Tabla 7: Matriz Criticidad según valores de Probabilidad y Consecuencia

Rango de Criticidad

Rango de criticidad	VEP
Muy crítico	12 a 16
Crítico	6 a 9
Moderadamente crítico	3 a 4
Levemente crítico	1 a 2

Tabla 8: Matriz Criticidad Rango de criticidad y Valor Esperado de Pérdida asignado

Este tipo de estudios lo realiza el Departamento de Ingeniería en Mantenición, específicamente la sección de mantenimiento predictivo, e inicialmente se confeccionó para 300 equipos el año 2003, en años posteriores, sólo se ha hecho para equipos específicos que lo han requerido en conjunto con el área a la cual pertenece el equipo, pero no se ha renovado completamente para todos.

4.2 Plan propuesto planta de acido

Se realiza el estudio de todos los equipos rotatorios que existe hoy en planta, de manera de evaluar la criticidad he impacto de cada uno de ellos en el proceso y definir estrategias de mantención de acuerdo a resultados.

4.3 Análisis de criticidad

Es importante realizar nueva identificación de activos críticos utilizando Pareto y Jack Knife, para jerarquizar he identificar potenciales fallos de los sistemas de producción.

4.3.1 Pareto

De acuerdo con análisis de Pareto nos dará una visión gráfica de los equipos que están causando mayor problema de acuerdo al tiempo fuera de servicio de cada activo por mantenimiento correctivo. Se observa que los tiempos fuera de servicio de los equipos son similares entre ellos, debido a esto, no es representable realizar un estudio de criticidad, ya que el 80% de los tiempos fuera de servicio es causado por el 70% del total de los activos.

A continuación, se muestran los tiempos asociados a mantenimiento correctivo de Planta de ácido de División Ventana tabla 8, ordenados en orden descendiente, además de los tiempos acumulados y su porcentaje. Para el Periodo Noviembre 2014 – Diciembre 2015

Equipo	Tiempo fuerza servicio	%TFS	%Acumulado
VENT. V10	193,0	5%	5%
BBA P70-1	187,5	5%	10%
VTI	130,0	3%	14%
BBA P70-2	126,3	3%	17%
BBA P70-3	123,8	3%	20%
VENT. V5-1	113,8	3%	23%
VENT. V5-2	108,8	3%	26%
VENT. V25-1	101,3	3%	29%
BBA P7-1	100,0	3%	32%

BBA P7-2	98,8	3%	34%
BBA P7-3	97,5	3%	37%
BBA P5-1	97,5	3%	40%
BBA P4-1	91,3	2%	42%
VENT. V25-2	90,3	2%	45%
BBA P6-1	90,0	2%	47%
BBA P20-1	90,0	2%	49%
BBA P20-2	88,8	2%	52%
BBA P54	86,3	2%	54%
BBA P2-1	86,3	2%	56%
BBA P5-2	85,0	2%	59%
BBA P2-2	83,8	2%	61%
BBA P2-3	83,8	2%	63%
BBA P1-1	82,5	2%	65%
BBA P1-2	80,0	2%	68%
BBA P58	76,3	2%	70%
BBA P10-1	75,0	2%	72%
BBA P10-2	75,0	2%	74%
BBA P22-1	73,8	2%	76%
BBA P22-2	71,3	2%	78%
BBA P4-2	70,0	2%	79%
BBA P9-1	67,1	2%	81%
BBA P9-2	66,3	2%	83%
BBA P3-1	65,0	2%	85%
BBA P3-2	63,8	2%	86%
BBA P21-1	63,8	2%	88%
BBA P21-2	60,0	2%	90%
BBA P23-1	60,0	2%	91%
BBA P23-2	58,8	2%	93%
VENT. FLAKT1	56,3	2%	94%
BBA P6-2	55,0	1%	96%
VENT. FLAKT2	55,0	1%	97%
81-MTR-419	51,3	1%	99%
BBA P10-3	35,0	1%	100%
5735-MTR-339	10,0	0%	100%

Tabla 9: tiempos asociados a mantenimiento correctivo

En el siguiente gráfico se destacan los equipos, que en conjunto abarcan el 80,5% de las fallas para el período de Noviembre 2014 - Diciembre 2015, siendo un total de 31 equipos.

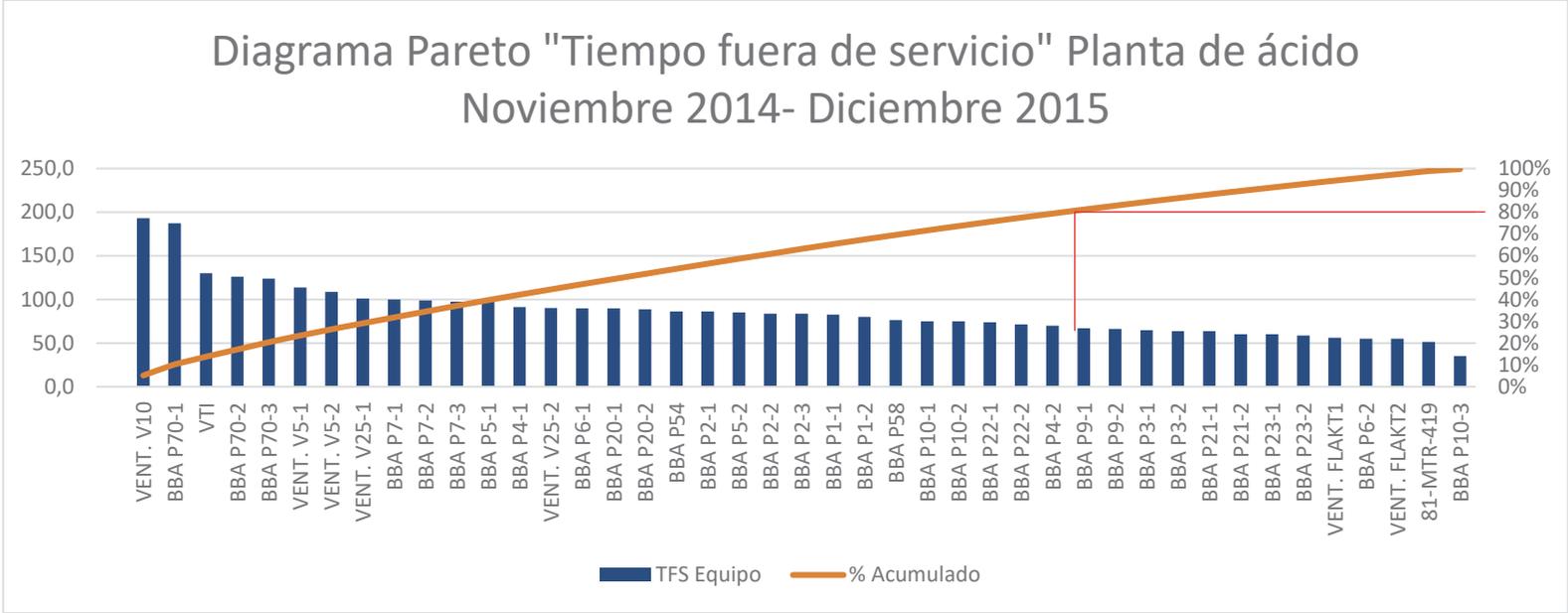


Figura 15: Diagrama Pareto Tiempo -fuera de servicios

4.3.2 Jack Knife equipos planta ácido

Este primer análisis con el método de Jack knife consta obtener el Tiempo medio de reparación y número de detenciones de la base de datos, para así obtener mediante el método de Jack knife resultados que nos indicaran que sistema es el más crítico o crónico lo cual será reflejado en el diagrama.

Base de datos para diagrama de Jack knife. Periodo Noviembre 2014 – Diciembre 2015

Item	Equipo	Número fallas	Tiempo fuera de servicio	MTTR
1	VTI	10	130	13,00
2	VENT. V10	15	193	12,87
3	BBA P70-1	20	187,5	9,37
4	BBA P70-2	20	126,25	6,31
5	BBA P70-3	17	123,75	7,28
6	VENT. V5-1	17	113,75	6,69
7	VENT. V5-2	17	108,75	6,40
8	VENT. V25-1	15	101,25	6,75
9	VENT. V25-2	14	90,25	6,45
10	BBA P7-1	14	100	7,14
11	BBA P7-2	14	98,75	7,05
12	BBA P7-3	13	97,5	7,50
13	BBA P5-1	13	97	7,50
14	BBA P5-2	13	85	6,54
15	BBA P4-1	13	91,25	7,02
16	BBA P4-2	12	70	5,83

17	BBA P6-1	12	90	7,50
18	BBA P6-2	12	55	4,58
19	BBA P20-1	12	90	7,50
20	BBA P20-2	12	88,75	7,40
21	BBA P54	11	86,25	7,84
22	BBA P2-1	11	86,25	7,84
23	BBA P2-2	11	83,75	7,61
24	BBA P2-3	11	83,75	7,61
25	BBA P1-1	11	82,5	7,50
26	BBA P1-2	11	80	7,27
27	BBA P58	11	76,25	6,93
28	BBA P10-1	11	75	6,82
29	BBA P10-2	10	35	3,5
30	BBA P10-3	10	73,75	7,38
31	BBA P22-1	10	73,75	7,38
32	BBA P22-2	10	71,25	7,13
33	BBA P9-1	10	67,08	6,71
34	BBA P9-2	10	66,25	6,62
35	BBA P3-1	10	65	6,50
36	BBA P3-2	10	63,75	6,38
37	BBA P21-1	10	63,75	6,37
38	BBA P21-2	10	60	6,00
39	BBA P23-1	9	60	6,67
40	BBA P23-2	9	58,75	6,53
41	VENT. FLAKT1	9	56,25	6,25

42	VENT. FLAKT2	9	55	6,11
43	81-MTR-419	9	51,25	5,69
44	5735-MTR- 339	9	10	1,11

Total de equipo	Total de fallas	Total TFS	MTTR Promedio	Promedio de fallas
44	527	3722,83	6,96	11,9

Tabla 10: base dato para el desarrollo de Jack Kanife

En el siguiente gráfico se destacan los equipos para el período de Noviembre 2014 - Diciembre 2015, siendo un total de 18 equipos entre el cuadrante superior e inferior derecho.

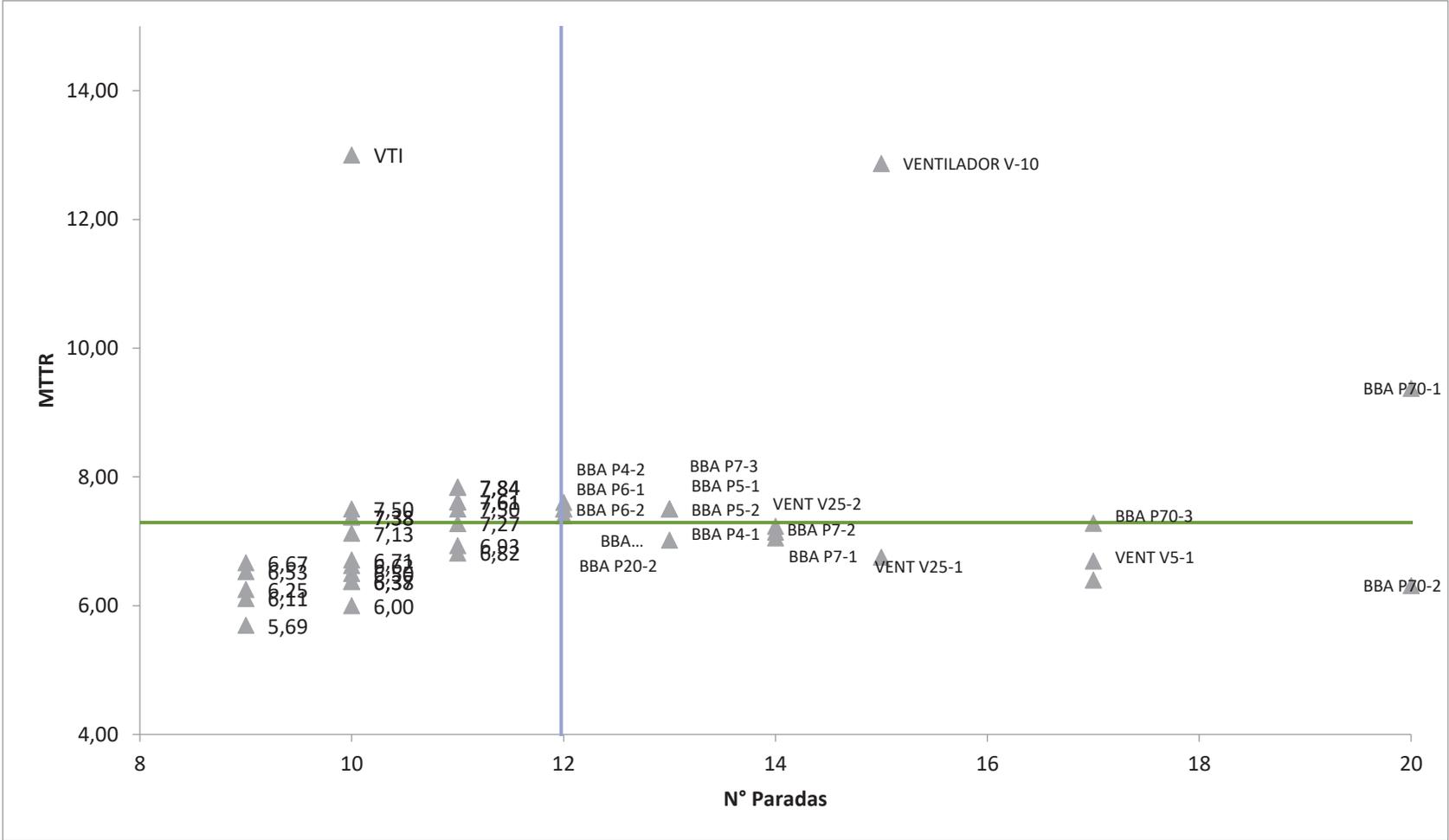


Figura 16: Grafico Jack Kanife Planta de ácido

El grafico de Jack knife se divide 4 cuadrantes:

- ✓ Cuadrante superior izquierdo: Corresponden a las fallas agudas (falla controlada, pero equipo este largo tiempo fuera de servicio)
- ✓ Cuadrante inferior derecho: corresponden a las fallas crónicas (falla con bajo tiempo de reparación; pero alta frecuencia)
- ✓ Cuadrante superior derecho: corresponde a una falla aguda o crítica (falla con alto tiempo de reparación y alta frecuencia)
- ✓ Cuadrante inferior izquierdo: corresponde a una falla leve (falla con bajo tiempo de reparación y baja frecuencia).

Como se puede apreciar en este gráfico cada cuadrante está asociado a un equipo. A modo de análisis se puede apreciar que el Ventilador V-10 se encuentra en el cuadrante de fallas críticas las cuales tienen una alta frecuencia y un alto MTTR; así mismo se aprecian los sistemas las cuales pertenecen al cuadrante de fallas crónicas las cuales tienen una gran frecuencia de repeticiones, pero su MTTR no es muy alto

Se realiza análisis para clasificar equipos de acuerdo a su comportamiento de falla, que pueden ser leves, agudos, crónicos y críticos, siendo estos últimos dos los más relevantes para realizar análisis de criticidad, efecto y modos de falla (FMECA), cuantificando 18 activos.

4.4 Selección equipos críticos

Equipo	Familia de equipo
VTI	Extractor
VENT. V10	Extractor
BBA P70-1	Bomba centrífuga
BBA P70-2	Bomba centrífuga
BBA P70-3	Bomba centrífuga
VENT. V5-1	Ventilador aire forzado
VENT. V5-2	Ventilador aire forzado
VENT. V25-1	Ventilador aire forzado
VENT. V25-2	Ventilador aire forzado
BBA P7-1	Bomba centrífuga
BBA P7-2	Bomba centrífuga
BBA P7-3	Bomba centrífuga
BBA P5-1	Bomba centrífuga
BBA P5-2	Bomba centrífuga
BBA P4-1	Bomba centrífuga
BBA P4-2	Bomba centrífuga
BBA P6-1	Bomba centrífuga
BBA P6-2	Bomba centrífuga

Tabla 11: Selección de equipo crítico

De 18 activos existente como equipos críticos, se separan en familias de equipos bombas centrífugas, Ventiladores centrífugos.

4.5 FMECA - análisis de modos de falla, efectos y criticidad

El propósito del FMECA es identificar y evaluar sistemáticamente las fallas potenciales, es decir, todos los posibles caminos en los cuales un equipo podría fallar.

4.4.1 Propósito del método FMECA

- a) Examinar cada elemento o parte constitutiva de un sistema identificado

- b) Determinar y evaluar el grado de severidad de los efectos o consecuencias
- c) Determinar las causas o mecanismo que originen la falla.
- d) Identificar acciones correctivas que podrían prevenir, eliminar o mitigar posibles fallas potenciales.
- e) Identificar controles que mejoren la posibilidad de detectar fallas tempranas.

Una parte importante del FMECA también incluye analizar la criticidad, involucrando cuán perjudicial son los efectos de los modos de falla sobre la operación, la cual se estima con niveles de ocurrencia y severidad de diferentes efectos de falla.

4.5.1 Implementación del FMECA

Este análisis permitirá la identificación y prevención de fallas será una herramienta útil de gran apoyo para establecer un programa de mantenimiento.

Para el presente proyecto, se enfoca específicamente: la identificación, prevención y riesgo de fallas mecánicas.

Procedimiento general para desarrollar un FMECA

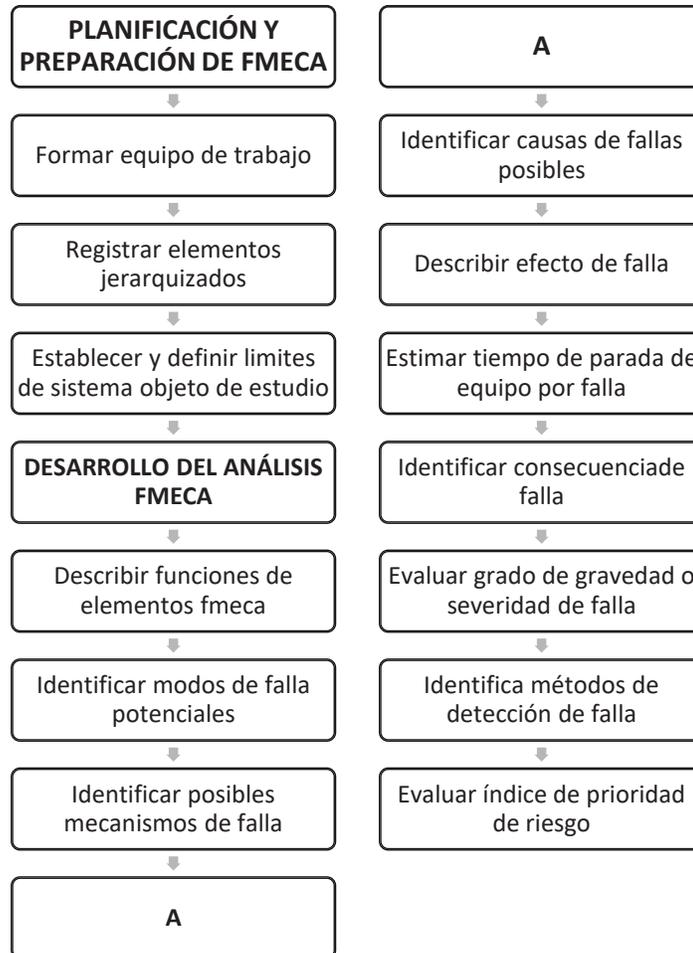


Figura 17: Diagrama de flujo del proceso completo de FMECA

El análisis FMECA se entiende como un proceso sistematizado y como tal debe tener una secuencia lógica y justificada. El procedimiento a desarrollar para el FMECA personalizado que se está generando puede descomponerse en tres secciones principales: Preparación y planificación, desarrollo del análisis y acciones a implementar.

4.5.2 Definición de límites del estudio

Se definió un sistema a cualquier conjunto de equipos que respaldan un requerimiento operacional para ejecutar una tarea específica. Estos requerimientos serán definidos de acuerdo a un análisis previo de criticidad o debido a condiciones ambientales.

4.5.3 Método de la raíz de riesgo

Una vez que todos los posibles mecanismos y causas de fallas sobre el equipo han sido documentados y sobre todo se logre establecer una secuencia de falla, se necesita asignar un rango de evaluación de severidad, ocurrencia y detección sobre la misión para cada modo de falla. Cada paso en la evaluación corresponderá a una tasa de fallos estimado basado en las experiencias del equipo de trabajo.

De determina el riesgo de la empresa con cada mecanismo de degradación de acuerdo con las siguientes tablas.

Severidad.

Define la gravedad de los efectos ocurridos si sucede el fallo en la máquina o instalación de estudio.

El cálculo de la severidad se realiza en dos partes, una de las cuales asigna unos valores probabilísticos a cada criterio, y en la segunda parte que se obtiene por análisis, al utilizar las tablas internacionales de valores de los distintos criterios de severidad.

La calificación de la severidad se realiza mediante el concurso de seis criterios:

- FO: Fallas ocultas
- SF: Impacto seguridad física
- MA: Impacto medio ambiente

- IC: Impacto en imagen corporativa
- OR: Costos de reparaciones o mantenimientos
- OC: Efectos en clientes.

4.5.4 Estimación de Severidad

$$S = FO \times K_{FO} + SF \times K_{SF} + MA \times K_{MA} + IC \times K_{IC} + OR \times K_{OR} + OC \times K_{OC}$$

Donde los coeficientes de los factores son constantes (su suma es de 1.0 o del 100%), así:

$$K_{FO} = 0,05 ; K_{SF} = 0,2 ; K_{MA} = 0,1 ; K_{IC} = 0,3 ; K_{OR} = 0,3 ; K_{OC} = 0,05$$

Los valores de los criterios de severidad se discuten entre los miembros, de acuerdo con el caso específico y con las circunstancias, mediante la obtención de los valores a partir de las siguientes opciones:

FO - Fallos Ocultos	
No existen fallas ocultas que puedan generar fallas múltiples posteriores	0
Existe una baja posibilidad de que la falla No sea detectable y ocasione fallas múltiples posteriores	1
En condiciones normales la falla siempre sera oculta y genera fallas múltiples posteriores	2
Existe una baja posibilidad de que la falla SI sea detectable y ocasione fallas múltiples posteriores	3
La falla siempre es oculta y ocasionará fallas múltiples graves en el sistema	4

SF - Seguridad Física	
No afecta a persona y equipo	0
Afecta a una persona y es posible que genere incapacidad temporal	1
Afecta de dos a cinco personas y puede generar incapacidad temporal	2
Afecta a mas de cinco personas y puede generar incapacidad temporal o permanente	3
Genera incapacidad permanente o la muerte, a una o mas personas	4

MA - Medio Ambiente	
No afecta al medio ambiente	0
Afecta al MA pero se puede controlar. No daña el ecosistema	1
Afecta la disponibilidad de recursos sociales y el ecosistema. Es reversible en menos de seis meses con un valor inferior a 5.000 dólares	2
Afecta la disponibilidad de recursos sociales y el ecosistema. Es reversible en menos de tres año con un valor inferior a 50.000 dólares	3
Afecta la disponibilidad de recursos sociales y el ecosistema. Es reversible en mas de tres años o es irreversible. Su impacto social y ecologico es superior a los 50.000 dólares	4

IC - Imagen Corporativa	
No es relevante	0
Afecta la credibilidad de clientes pero se maneja con argumentos	1
Afecta la credibilidad de clientes pero se maneja con argumentos e inversión inferior a 1.000 dólares	2
Afecta la credibilidad de clientes pero se maneja con argumentos e inversión entre 1.000 y 10.000 dólares	3
Afecta la credibilidad de clientes pero se maneja con argumentos e inversión mayor de 10.000 dólares. Puede ser irreversible	4

Tabla 12: Criterios de severidad para análisis FMECA

OR - Costo de reparación	
Entre 1 y 50 dólares	0
Entre 51 y 500 dólares	1
Entre 501 y 5.000 dólares	2
Entre 5.001 y 50.000 dólares	3
Mayo a 51.000 dólares	4

OC - Efecto en Clientes	
Entre 1 y 50 dólares	0
Entre 51 y 500 dólares	1
Entre 501 y 5.000 dólares	2
Entre 5.001 y 50.000 dólares	3
Mayor a 51.000 dólares	4

Tabla 13: Criterios de severidad para análisis FMECA

Ocurrencia

Número de sucesos ocurridos en un intervalo de tiempo.

Ocurrencia	
Frecuente 1 falla en 1 - 4 meses	4
Ocasional 1 falla en 1 - 3 años	3
Remoto 1 falla en 3 - 5 años	2
Poco probable 1 falla en 20 años	1

Tabla 14: Niveles de ocurrencia

Detección

Mayor o menor facilidad de detectar una causa de fallo según recursos humanos y técnicos disponibles

Detección	
Nula - No se puede detectar una causa potencial / mecanismo y modo de falla subsecuente	4
Baja - baja probabilidad para detectar causas potenciales mecanismo y modos de falla subsecuentes	3
Media - Mediana probabilidad para detectar causas potenciales / mecanismo y modos de fallas subsecuentes	2
seguro - siempre se detectarán causas potenciales / mecanismo y modos de fallas subsecuentes	1

Tabla 15: Niveles de detección

4.5.5 Interpretación del NPR

El NPR es el número de prioridad de riesgo y es el valor obtenido de la multiplicación de los datos de severidad, ocurrencia y detectabilidad.

$$RPN = S \times O \times D$$

Donde,

S: Severidad

O: Probabilidad de ocurrencia

D: Probabilidad de detección

Una vez sea evaluado la primera fase de FMECA, se debe presentar la segunda fase donde se vuelve a revisar el FMECA evaluando nuevamente los NPR cual se espera sea un valor por debajo de lo anterior.

4.5.6 Desarrollo del análisis

El análisis Jack knife ayudará a establecer la prioridad, nos ayuda a clasificar categorías, e identificar oportunidades de mejoras.

Se analizan los modos de falla a los equipos agudos crónicos, La planilla FMECA se adjunta en la tabla 16.

FALLA FUNCIONAL	cód	MODO DE FALLA	ítem	DESCRIPCION MODO DE FALLA	CAUSA DE FALLA	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	CODELCO CHILE - DIVISION VENTANAS SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO										
							CLASIFICACIÓN DE SEVERIDAD						RPN			Valor	
							FO	SF	MA	IC	OR	OC	S	O	D	RPN	
1. No puede capturar gases proveniente de los convertidores teniente y pierce smith y conducirlo a los precipitadores	A	Falla extracción de gases VENTILADOR CENTRIFUGO	1-A-1	Falla los rodamientos	1. Falla de rodamientos por término de vida útil -Falla por déficit de lubricación -Falla por contaminación del lubricante. -Falla por un desalineamiento	1. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y temperatura para realizar detección de falla en rodamientos, condición del rodete, anomalías en lubricación.	0	0	2	1	2	3	1,25	3	1	3,75	
			1-A-2	Falla lubricación	2. Falla lubricación soportes de ventilador debido a contaminación por efecto del medio ambiente -Falla por déficit por no ejecución de la lubricación -Falla por frecuencia inadecuada de relubricación	2. Realizar ruta de lubricación para verificar nivel de aceite, filtraciones, estado del visor.	1	0	0	0	2	3	0,8	2	1	1,6	
			1-A-3	Perdida de eficiencia y vibración excesiva	3. Falla por contaminación y/o desgaste de rodete, Soltura mecánica pernos fijación de rodete	3. Realizar ruta de inspección preventiva mecánica para verificar el estado de rodete, realizar balanceo dinámico de acuerdo a monitoreo condición. Realizar limpieza con ácido del rodete cada 6 meses	1	1	2	1	4	4	2,15	3	1	6,45	
	B	Falla motor eléctrico MOTOR ABB	2-B-1	Falla rodamiento del motor	1. Falla rodamiento por desgaste, término vida útil, pérdida ajuste o lubricación inadecuada exceso o déficit	1. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y de temperatura, ver estado rodamiento, verificar el estado del ventilador con lámpara estroboscópica	0	0	2	1	2	4	1,3	3	1	3,9	
			2-B-2	Falla ventilación motor	2. Falla la ventilación por obstrucción de la ventilación, roce interno, presencia de polvo.	2. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y de temperatura, ver estado rodamiento, verificar el estado del ventilador con lámpara estroboscópica	0	1	0	0	2	0	0,8	2	1	1,6	
			2-B-3	Falla de aislamiento	3. Falla del aislamiento por sobrecarga o alguna conexión suelta.	3. Realizar ruta de inspección preventiva electrocontrol para revisar la ventilación del motor, medición temperatura, ver soldadura en el prensa cable, daño en el termocontraible que reduce el aislamiento, revisión de las puesta a tierra.	1	1	2	1	2	3	1,5	3	1	4,5	
	C	Transmisión	2-C-1	Falla acoplamiento	1. Falla acoplamiento -Falla inserto debido a desalineamiento severo -Falla por desgaste de eje -Falla por desplazamiento de machon	1. Realizar ruta de inspección sintomática de vibración y de termografía, ver estado acoplamiento con estroboscópica.	1	1	2	1	2	3	1,5	3	1	4,5	
	D	Reductor de velocidad FALK	3-A-1	Falla los rodamientos	1. Falla de rodamientos por término de vida útil -Falla por déficit de lubricación -Falla por contaminación del lubricante.	1. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y temperatura para realizar detección de falla en rodamientos y anomalías en lubricación.	0	0	2	1	3	3	1,55	3	1	4,65	
			3-A-2	Falla lubricación	2. Falla por déficit por no ejecución de la lubricación -Falla por frecuencia inadecuada de relubricación - Desgaste empaquetaduras y retenes. -Filtraciones debido a estado gaseoso, sobrecalentamiento -Pérdida de propiedades mecánicas de lubricante - Contaminación del lubricante	2. Realizar ruta de lubricación para verificar nivel de aceite, filtraciones, estado del visor, estado de los vasos de rellenos automáticos y venteos del reductor. Realizar cambio de aceite semanal del reductor(conjunto rotatorio) producto de la contaminación con agua.	1	0	0	0	3	3	1,1	2	1	2,2	
			3-A-3	Vibración excesiva	3. -Rotura de dentadura engranes -Soltura de rodamientos ejes	3. Realizar ruta de medición sintomática de vibración para realizar detección de frecuencia de engranes y detectar soldaduras mecánicas.	1	1	1	0	4	4	1,75	2	1	3,5	

Tabla 16: Desarrollo FMECA Ventilador V10

4.6 Análisis de datos

4.6.1 Resultados de análisis FMECA

Una vez realizado el estudio de criticidad, basado en la metodología FMECA, se obtuvieron los valores de RPN y según estos, se establece un criterio de prioridad para los modos de falla estudiados. De esta manera se reconocen qué equipos son más críticos y necesitan de mayor cuidado para su correcto funcionamiento.

4.6.1.1 Criterio de Criticidad en FMECA

Dado que los valores de RPN figuran entre 0,3 y 8,4; se establece una escala de criticidad ascendente entre 0 y 8,4.

- Criticidad BAJA: Valor de RPN entre 0 y 3
- Criticidad MEDIA: Valor de RPN entre 3 y 5
- Criticidad ALTA: Valor de RPN sobre 5

4.6.1.2 Modos de falla críticos

El estudio realizado me entrega los siguientes modos de falla y descripción según equipo que se está analizando:

Ventilador Centrifugo. VEN V25-1			
Modo de Falla	Ítem	Descripción	RPN
Falla sistema transmisión, Acoplamiento	2-C-1	Acoplamiento Dañado por desalineamiento severo, desplazamiento de machon y desgaste de eje.	6
Ventilador Centrifugo. VEN V25-2			
Modo de Falla	Ítem	Descripción	RPN
Falla sistema transmisión, Acoplamiento	2-C-1	Acoplamiento Dañado por desalineamiento severo, desplazamiento de machon y desgaste de eje.	6
Falla rodamiento de salida reductor FALK	3-D-1	Falla rodamiento por déficit de lubricación, contaminación por humedad (vapor)	6,6
Falla Lubricación	3-D-2	Desgaste empaquetaduras y retenes, contaminación del lubricante	5,7
Ventilador Centrifugo. VEN V5-1			
Modo de Falla	Ítem	Descripción	RPN
Falla rodamiento motor	2-B-1	Falla rodamiento por lubricación inadecuada exceso o déficit	5,6
Falla sistema transmisión, Acoplamiento	2-C-1	Acoplamiento Dañado por desalineamiento severo, desplazamiento de machon y desgaste de eje.	6
Falla rodamiento de salida reductor FALK	3-D-1	Falla rodamiento por déficit de lubricación, contaminación por humedad (vapor)	6,6
Falla Lubricación	3-D-2	Desgaste empaquetaduras y retenes, contaminación del lubricante	5,7
Ventilador Centrifugo. VEN V5-2			
Modo de Falla	Ítem	Descripción	RPN
Falla rodamiento de salida reductor FALK	3-D-1	Falla rodamiento por déficit de lubricación, contaminación por humedad (vapor)	6,6
Falla Lubricación	3-D-2	Desgaste empaquetaduras y retenes, contaminación del lubricante	5,7
Ventilador Centrifugo. VEN V10			
Modo de Falla	Ítem	Descripción	RPN
Perdida de eficiencia y vibración excesiva	1-A-3	Falla por contaminación y/o desgaste de rodete, desbalance, soltura pernos de fijación.	6,45

Tabla 17: Modos de falla críticos de análisis FMECA, parte 1

Ventilador tiro inducido			
Modo de Falla	Ítem	Descripción	RPN
Perdida de eficiencia y vibración excesiva	1-A-3	Falla por contaminación y/o desgaste de rodete, desbalance, soldadura pernos de fijación.	8,4
Base anclaje de conjunto con fisuras	1-A-4	Exceso de vibración y contaminación ambiental.	8.4
Falla sistema transmisión, Acoplamiento	2-C-1	Acoplamiento Dañado por desalineamiento severo, desplazamiento de machon y desgaste de eje.	5,1
Bomba centrífuga P70-1			
Modo de Falla	Ítem	Descripción	RPN
Falla rodamiento	1-A-1	Falla rodamiento por contaminación con producto, déficit de lubricante y desalineamiento severo	5,7
Falla lubricación de la bomba	1-A-2	Problema asociado a lubricación por contaminación por problema de sellado, desgaste empaquetadura y retenes	5,7
Falla por perdida de sellado	1-A-3	Rotura de caras de sello mecánico, desgaste de o-ring	6,3
Bomba centrífuga P70-2			
Modo de Falla	Ítem	Descripción	RPN
Falla rodamiento	1-A-1	Falla rodamiento por contaminación con producto, déficit de lubricante y desalineamiento severo	5,7
Bomba centrífuga P7-1			
Modo de Falla	Ítem	Descripción	RPN
Falla rodamiento	1-A-1	Falla rodamiento por contaminación con producto, déficit de lubricante y desalineamiento severo	5,7
Rotura de eje	1-A-4	Falla por fractura de eje, por desalineamiento severo, trabamiento impulsor y falla de rodamiento	6
Bomba centrífuga P7-3			
Modo de Falla	Ítem	Descripción	RPN
Falla rodamiento	1-A-1	Falla rodamiento por contaminación con producto, déficit de lubricante y desalineamiento severo	5,7

Tabla 18: Modos de falla críticos de análisis FMECA, parte 2

Bomba centrífuga P6-1			
Modo de Falla	Ítem	Descripción	RPN
Falla rodamiento	1-A-1	Falla rodamiento por contaminación con producto, déficit de lubricante y desalineamiento severo	5,7
Bomba centrífuga P6-2			
Modo de Falla	Ítem	Descripción	RPN
Falla motor eléctrico por aislamiento	2-B-3	Falla aislamiento por sobrecarga, conexiones sueltas.	5,7
Bomba centrífuga P5-1			
Modo de Falla	Ítem	Descripción	RPN
Falla rodamiento	1-A-1	Falla rodamiento por contaminación con producto, déficit de lubricante y desalineamiento severo	5,7
Bomba centrífuga P5-2			
Modo de Falla	Ítem	Descripción	RPN
Falla rodamiento	1-A-1	Falla rodamiento por contaminación con producto, déficit de lubricante y desalineamiento severo	5,7
Falla por pérdida de sellado	1-A-3	Rotura de caras de sello mecánico, desgaste de o-ring	6,3
Bomba centrífuga P4-1			
Modo de Falla	Ítem	Descripción	RPN
Falla rodamiento	1-A-1	Falla rodamiento por contaminación con producto, déficit de lubricante y desalineamiento severo	5,7
Bomba centrífuga P4-2			
Modo de Falla	Ítem	Descripción	RPN
Falla motor eléctrico por aislamiento	2-B-3	Falla aislamiento por sobrecarga, conexiones sueltas.	5,7

Tabla 19: Modos de falla críticos de análisis FMECA, parte 3

De esta manera, quedan reconocidos los modos de falla más frecuentes y que tienen un mayor impacto en la operación, información clave al momento de ocurrida una falla centrar la atención en ellos, además de entregar mayor relevancia al momento de programar una tarea de mantenimiento.

En Anexo 2 se encuentra el análisis FMECA completo para corroborar la información.

4.7 Ciclo de Análisis de Modos de Fallas, Efectos y Criticidad (FMECA)

Una vez realizado el Análisis FMECA, habiendo obtenido un orden de prioridad de trabajos dada la criticidad calculada, es necesario complementar este proceso recreando el proceso,

agregándole la selección de qué tipo de tarea se va realizar, determinar los recursos que serán necesarios, ya sean recursos de personal y recursos materiales, personalizando los procesos y calcular un nuevo RPN para saber si existen variaciones de acuerdo al RPN calculado anteriormente. Así cerrar el ciclo de estudio y generar mejoras en los procesos de manera continua.

A la planilla de Análisis FMECA se le agrega la siguiente tabla

TIPO DE TAREA A REALIZAR				RECURSOS		CONTROL				CALIFICACIÓN DE SEVERIDAD							
Correctiva	Modificativa	Preventiva	Predictiva	Humanos	Físicos	Persona Responsable	Fecha Ejecución de la Tarea			S							
										RPN		NUEVO RPN					
									FO	SF	MA		IC	OR	OC	O	D

Tabla 20: Planilla complementaria para análisis FMECA. Fuente propia.

5 Desarrollo de planes de mantenimiento a equipos críticos

5.1 Planes de Mantenimiento

Ya determinado los equipos críticos, solo queda generar las estrategias de mantenimiento por cada equipo.

Como ya se evaluó cada modo de falla y sus consecuencias, se debe realizar el análisis de que actividad o estrategia logrará prevenir de manera eficiente las fallas potenciales detectada.

Equipo	Componente	Actividad	Frecuencia	Duración estimada (min, hr o días)	Estrategia	Detención	Ejecutor
VEN V25-1	Acoplamiento	Revisión con lampara estroboscópica estado de acoplamiento	semanal	10 min	Predictivo	no	Predictivo
		Revisión de estado de pernos de fijación, realizar apriete de prisionero	3 meses	1 hr	Preventivo fecha constante	si	Mecánico
VEN V25-2	Reductor	Inspección en busca de filtración	mensual	10 min	Preventivo según condición	no	Mecánico
		Registro de temperatura y presión de trabajo	mensual	10 min	Preventivo según condición	no	Mecánico
		Inspección manifold de lubricación y limpieza de boquilla	1 año	4 hr	Preventivo fecha constante	si	Mecánico
		Monitoreo nivel de aceite y limpieza de visor	6 meses	10 min	Preventivo según condición	no	Mecánico
		Análisis de aceite	6 meses	20 min	Preventivo según condición	no	Mecánico
		Cambio de aceite	1 año	4 hr	Preventivo fecha constante	si	Mecánico
		Realizar analisis vibración, evaluar estado de rodamientos y sistemas de engranajes	semanal	15 min	Preventivo fecha constante	no	Predictivo
	Acoplamiento	Revisión con lampara estroboscópica estado de acoplamiento	semanal	10 min	Preventivo fecha constante	no	Predictivo
		Revisión de estado de pernos de fijación, realizar apriete de prisionero	3 meses	1 hr	Preventivo fecha constante	si	Mecánico
	VEN V5-1	Motor eléctrico	Realizar analisis vibración, evaluar estado de rodamientos	semanal	10 min	Predictivo	no
Engrase de rodamiento			3 meses	20 min	Predictivo	no	Mecánico
Medición de corriente de consumo			4 meses	10 min	Preventivo según condición	no	Eléctrico
Revisión caja conexión, verificar estado de presas y realizar reapriete			6 meses	1 hr	Preventivo fecha constante	si	Eléctrico
Medición de aislación			6 meses	10 min	Preventivo fecha constante	si	Eléctrico
Medición de temperatura, RPM y ver estado de aspas de ventilación			semanal	10 min	Predictivo	no	Predictivo
Acoplamiento		Revisión con lampara estroboscópica estado de acoplamiento	semanal	10 min	Preventivo fecha constante	no	Predictivo
		Revisión de estado de pernos de fijación, realizar apriete de prisionero	3 meses	1 hr	Preventivo fecha constante	si	Mecánico
Reductor		Inspección en busca de filtración	mensual	10 min	Preventivo según condición	no	Mecánico
		Registro de temperatura y presión de trabajo	mensual	10 min	Preventivo según condición	no	Mecánico
		Inspección manifold de lubricación y limpieza de boquilla	1 año	4 hr	Preventivo fecha constante	si	Mecánico
		Monitoreo nivel de aceite y limpieza de visor	6 meses	10 min	Preventivo según condición	no	Mecánico
		Análisis de aceite	6 meses	20 min	Preventivo según condición	no	Mecánico
		Cambio de aceite	1 año	4 hr	Preventivo fecha constante	si	Mecánico
Realizar analisis vibración, evaluar estado de rodamientos y sistemas de engranajes	semanal	15 min	Preventivo fecha constante	no	Predictivo		
VEN V5-2	Reductor	Inspección en busca de filtración	mensual	10 min	Preventivo según condición	no	Mecánico
		Registro de temperatura y presión de trabajo	mensual	10 min	Preventivo según condición	no	Mecánico
		Inspección manifold de lubricación y limpieza de boquilla	1 año	4 hr	Preventivo fecha constante	si	Mecánico
		Monitoreo nivel de aceite y limpieza de visor	6 meses	10 min	Preventivo según condición	no	Mecánico
		Análisis de aceite	6 meses	20 min	Preventivo según condición	no	Mecánico
		Cambio de aceite	1 año	4 hr	Preventivo fecha constante	si	Mecánico
		Realizar analisis vibración, evaluar estado de rodamientos y sistemas de engranajes	semanal	15 min	Preventivo fecha constante	no	Predictivo

Equipo	Componente	Actividad	Frecuencia	Duración estimada (min, hr o días)	Estrategia	Detención	Ejecutor
VEN V10	Cámara retención de gases	Realizar limpieza de camara	1 año	4 hr	Preventivo fecha constante	si	Mecánico
		Revisión y limpieza de rodete	1 año	4 hr	Preventivo fecha constante	si	Mecánico
	Estructura soporte de motor y ductors de aspiración	Revisión con tintas penetrantes estado de estructura de motor	1 año	1 hr	Predictivo	no	Predictivo
		Realizar reapriete de pernos anclajes	1 año	8 hr	Preventivo fecha constante	si	Mecánico
		Revisión y areapriete de soportes de aspiración	1 año	8 hr	Preventivo fecha constante	si	Mecánico
VTI	Cámara retención de gases	Realizar limpieza de camara	1 año	4 hr	Preventivo fecha constante	si	Mecánico
		Revisión y limpieza de rodete	1 año	4 hr	Preventivo fecha constante	si	Mecánico
	Estructura soporte de motor y ductors de aspiración	Revisión con tintas penetrantes estado de estructura de motor	1 año	1 hr	Predictivo	no	Predictivo
		Realizar reapriete de pernos anclajes	1 año	8 hr	Preventivo fecha constante	si	Mecánico
		Revisión y areapriete de soportes de aspiración	1 año	8 hr	Preventivo fecha constante	si	Mecánico
	Acoplamiento	Revisión con lampara estroboscópica estado de acoplamiento	semanal	10 min	Preventivo fecha constante	no	Predictivo
		Revisión de estado de pernos de fijación, realizar apriete de prisionero	3 meses	1 hr	Preventivo fecha constante	si	Mecánico
P70-1	Bomba	Realizar analisis vibración, evaluar estado de rodamientos, alineamiento. Etc.	semanal	10 min	Predictivo	no	Predictivo
		Registro de temperatura y presion de trabajo	mensual	10 min	Preventivo según condición	no	Mecánico
		Inspección en busca de filtración	mensual	10 min	Preventivo según condición	no	Mecánico
		Monitoreo nivel de aceite y limpieza de visor	6 meses	10 min	Preventivo según condición	no	Mecánico
		Análisis de aceite	6 meses	20 min	Preventivo según condición	no	Mecánico
		Cambio de aceite	1 año	4 hr	Preventivo fecha constante	si	Mecánico
		Inspección visual estado de sello mecánico	semanal	5 min	Predictivo	no	Predictivo
Cambio sello mecánico por filtración excesiva	1 año	3 hr	Preventivo según condición	no	Mecánico		
P70-2	Bomba	Realizar analisis vibración, evaluar estado de rodamientos, alineamiento. Etc.	semanal	10 min	Predictivo	no	Predictivo
P7-1	Bomba	Realizar analisis vibración, evaluar estado de rodamientos, alineamiento. Etc.	semanal	10 min	Predictivo	no	Predictivo
		Realizar analisis vibración, evaluar estado de alineamiento	semanal	10 min	Predictivo	no	Predictivo
		Realizar alineamiento	6 meses	2 hr	Preventivo según condición	si	Predictivo
P7-3	Bomba	Realizar analisis vibración, evaluar estado de rodamientos, alineamiento. Etc.	semanal	10 min	Predictivo	no	Predictivo
P6-1	Bomba	Realizar analisis vibración, evaluar estado de rodamientos, alineamiento. Etc.	semanal	10 min	Predictivo	no	Predictivo
P6-2	Motor eléctrico	Realizar analisis vibración, evaluar estado de rodamientos, alineamiento. Etc.	semanal	10 min	Predictivo	no	Predictivo
		Engrase de rodamiento	3 meses	20 min	Predictivo	no	Mecánico
		Medición de corriente de consumo	4 meses	10 min	Preventivo según condición	no	Eléctrico
		Revisión caja conexión, verificar estado de prensas y realizar reapriete	6 meses	1 hr	Preventivo fecha constante	si	Eléctrico
		Medición de aislación	6 meses	10 min	Preventivo fecha constante	si	Eléctrico
		Medición de temperatura, RPM y ver estado de aspas de ventilacion	semanal	10 min	Predictivo	no	Predictivo

Equipo	Componente	Actividad	Frecuencia	Duración estimada (min, hr o días)	Estrategia	Detención	Ejecutor
P5-1	Bomba	Realizar analisis vibración, evaluar estado de rodamientos, alineamiento. Etc.	semanal	10 min	Predictivo	no	Predictivo
P5-2	Bomba	Realizar analisis vibración, evaluar estado de rodamientos, alineamiento. Etc.	semanal	10 min	Predictivo	no	Predictivo
		Inspección en busca de filtración	mensual	10 min	Preventivo según condición	no	Mecánico
		Monitoreo nivel de aceite y limpieza de visor	6 meses	10 min	Preventivo según condición	no	Mecánico
		Análisis de aceite	6 meses	20 min	Preventivo según condición	no	Mecánico
		Cambio de aceite	1 año	4 hr	Preventivo fecha constante	si	Mecánico
		Inspección visual estado de sello mecánico	semanal	5 min	Predictivo	no	Predictivo
		Cambio sello mecánico por filtración excesiva	1 año	3 hr	Preventivo según condición	no	Mecánico
P4-1	Bomba	Realizar analisis vibración, evaluar estado de rodamientos, alineamiento. Etc.	semanal	10 min	Predictivo	no	Predictivo
P4-2	Motor eléctrico	Realizar analisis vibración, evaluar estado de rodamientos, alineamiento. Etc.	semanal	10 min	Predictivo	no	Predictivo
		Engrase de rodamiento	3 meses	20 min	Predictivo	no	Mecánico
		Medición de corriente de consumo	4 meses	10 min	Preventivo según condición	no	Eléctrico
		Revisión caja conexión, verificar estado de prensas y realizar reapriete	6 meses	1 hr	Preventivo fecha constante	si	Eléctrico
		Medición de aislación	6 meses	10 min	Preventivo fecha constante	si	Eléctrico
		Medición de temperatura, RPM y ver estado de aspas de ventilación	semanal	10 min	Predictivo	no	Predictivo

Tabla 21: Planes de Mantenimiento por modo de falla critico

5.2 Actualización de pautas de mantenimiento.

Se generan Pautas de trabajo específicas para cada acción de mantenimiento, en las cuales se detallan paso a paso lo necesario para desarrollar de manera efectiva una tarea. Es por esto que estas pautas deben estar explicadas de la mejor manera, a veces de manera redundante, pero es necesario para cumplir los requisitos antes mencionados. Ver Anexo 3.

Es importante ir actualizando estos procedimientos de acuerdo con los cambios que se hayan realizado en los equipos, cambios de operación, condición de trabajo, cambio de repuestos o similar.

6 Análisis costo – Beneficio

6.1 Impacto de implementación de mejoras

Recuperando el 100% del tiempo de detención de los principales equipos que detienen planta tenemos un potencial de USD 1.798.151, solo por las ventas de toneladas producidas de ácido sulfúrico.

Ecuación para calcular perdida producción en USD

$$\text{Perdida producción} = (\text{TFS acumulado por equipo (hr)} \times \text{Costo ácido sulfurico (hr)})$$

Del total de equipos, solo 7 evidencian perdida de producción por detención.

Equipo	TFS	Pérdida Producción ácido sulfúrico en USD
VENT. MILJO	130	0
VENT. V10	193	\$ 475.890,41
BBA P70-1	187,5	0
BBA P70-2	126,25	0
BBA P70-3	123,75	0
VENT. V5-1	113,75	\$ 280.479,45
VENT. V5-2	108,75	\$ 268.150,68
VENT. V25-1	101,25	\$ 249.657,53
VENT. V25-2	90,25	\$ 222.534,25
BBA P7-1	100	0
BBA P7-2	98,75	0
BBA P7-3	97,5	0
BBA P5-1	97,5	0
BBA P5-2	85	0
BBA P4-1	91,25	0
BBA P4-2	70	0
BBA P6-1	90	0
BBA P6-2	55	0
BBA P20-1	90	0

BBA P20-2	88,75	0
BBA P54	86,25	0
BBA P2-1	86,25	0
BBA P2-2	83,75	0
BBA P2-3	83,75	0
BBA P1-1	82,5	0
BBA P1-2	80	0
BBA P58	76,25	0
BBA P10-1	75	0
BBA P10-2	35	0
BBA P10-3	73,75	0
BBA P22-1	73,75	0
BBA P22-2	71,25	0
BBA P9-1	67,08	0
BBA P9-2	66,25	0
BBA P3-1	65	0
BBA P3-2	63,75	0
BBA P21-1	63,75	0
BBA P21-2	60	0
BBA P23-1	60	0
BBA P23-2	58,75	0
VENT. FLAKT1	56,25	\$ 138.698,63
VENT. FLAKT2	55	\$ 135.616,44
TOTAL		\$ 1.798.151

Tabla 22: Tiempo fuera de servicio y su impacto en producción

6.2 Disminuir tiempo asignado a inspecciones predictivas

Esto se traduce en una disminución de las horas hombre dedicadas a la inspección debido a la realización de una mantención dirigida, lo que permitirá la reasignación de este recurso y fundamentalmente bajar la carga laboral a los analistas, por lo que básicamente este sistema trae consigo un aumento de la productividad de la mano de obra.

CODELCO División ventanas valora la hora hombre en 16 US\$ y de acuerdo con lo anteriormente analizado, el analista demora entre 10 y 30 minuto por cada equipo dependiendo de su criticidad por lo que el costo total de inspección de estos equipos es:

Tiempo de ahorro en medición y análisis de vibración			
Parámetro	Medición	Análisis	Unidad
Numero Equipo	18	18	
Tiempo medición por equipo	20	10	minuto
Tiempo total mes	60	30	hr
Tiempo total año	720	360	hr
Costo por equipo	16	16	
Costo anual	11.520	5.760	usd/año

Tabla 23: Tiempo de ahorro en medición de vibración

Costo total: 17.280 USD/año

6.3 Aumento producción

El aumento de disponibilidad de estos equipos es una consecuencia de la característica de mantención dirigida que posee el sistema, el cual permite realizar una gestión de mantenimiento en un tiempo menor lo cual disminuye los tiempos en que los equipos se encuentran fuera de servicio y por consecuencia aumenta la disponibilidad.

Para cuantificar en cuanto aumentaría la disponibilidad de los equipos y su repercusión en la producción de cobre y acido según corresponda, se contabilizaron los tiempos totales utilizados anualmente en mantenimiento correctivo para cada equipo ya que son estos tiempos los que permitiría reducir el nuevo sistema de control y monitoreo en tiempo real.

6.3.1 Equipos críticos que impactan en producción

Estos equipos si bien son críticos para la producción de cobre, no pueden ser detenidos para realizar un mantenimiento forma semanal por lo que su mantenimiento durante el año solo son inspecciones predictivas, sin embargo, cada año son detenidos 35 días durante el mes de febrero para realizarles mantenimiento.

Equipo	TFS	Pérdida Producción ácido sulfúrico en USD
VENT. V10	193	\$ 475.890,41
VENT. V5-1	113,75	\$ 280.479,45
VENT. V5-2	108,75	\$ 268.150,68
VENT. V25-1	101,25	\$ 249.657,53
VENT. V25-2	90,25	\$ 222.534,25
VENT. FLAKT1	56,25	\$ 138.698,63
VENT. FLAKT2	55	\$ 135.616,44
<i>TOTAL</i>		<i>\$ 1.798.151</i>

Tabla 24: Tiempo fuera de servicio actual.

De lo anterior un aumento de las disponibilidades en estos equipos tienen incidencia directa en la producción pues disminuir las horas destinadas a este tipo de mantenimiento permitiría aumentar en la misma proporción las horas de producción de ácido y cobre.

Para cuantificar estos efectos se deben considerar las disponibilidades actuales de la planta de ácido.

Equipos	Disponibilidad promedio	Tiempo de funcionamiento actual	Funcionamiento programado
Planta acido	90,2%	6626	7344

Tabla 25: disponibilidad actual

Por lo tanto, las disponibilidades posibles con el aumento de horas de producción serían las siguientes, considerando capturar el 85% de los tiempos fuera de servicio.

Equipos	Funcionamiento real actual [hora/año]	Funcionamiento real posible [hora/año]	Funcionamiento programado [hora/año]	Nueva disponibilidad
Planta acido	6626	7233	7344	98,4%

Tabla 26: Aumento de disponibilidad

Para valorizar este aumento en disponibilidad es necesario conocer los precios de venta del ácido sulfúrico.

El precio utilizado para la tonelada de ácido sulfúrico es 300 USD/TON.

Toneladas producidas	producción TON	Costo USD
Ton/día	197,26	59.178,08
Ton/hr	8,22	2.465,75
Ton/año (365d)*	72.000	21.600.000
Ton/año (306 disponible)*	60.361	18.108.300

*Producción total sin Mantenimiento preventivo

*Producción programada contemplando 35 días de mantenimiento y 24 días anual parcelado, en detención programadas dos veces por mes

Tabla 27: Producción ácido sulfúrico

Parámetro	Valor	Unidad
Producción anual de ácido (306 días)	60.361	TON
Producción real con 90,2% disponibilidad	54.445	TON
Aumento producción	8,4 %	-
Nueva producción	59.395	TON
Diferencia	4.950	TON
Precio promedio de ácido	300	USD/TON
Beneficio anual	1.485.067	USD

Tabla 28: Aumento producción según disponibilidad mejorada

7 Implementación sistema monitoreo en línea

7.1 Selección de equipo

Para la propuesta en marcha de un nuevo plan de análisis de vibraciones se seleccionan los equipos que se considera de acuerdo con el diagrama Jack-Knife.

7.2 Monitoreo vibración actual

La medición de las vibraciones para los equipos críticos de la planta se realiza de acuerdo al plan confeccionado en el sistema SAP, por lo que al comienzo de cada semana el sistema entrega los equipo que deben ser medidos y analizados de acuerdo a la frecuencia que poseen, en promedio por semana se miden y analizan alrededor de 80 equipos en Planta de Ácido, Plata de Oxígeno, Central Térmica, Refino a Fuego, Fundición, Refinería Electrolítica, Productos Metalúrgicos, Control de Calidad y Planta de Secado. Para realizar estas mediciones diarias se cuenta con una persona (Analista B), el Hardware Microlog y Software @ptitud Analysis de la empresa SKF. Este equipo de medición es de tipo portátil y cuenta con un sensor (acelerómetro piezoeléctrico) que puede medir velocidad y aceleración en las direcciones vertical, horizontal y axial. Según el procedimiento definido por CODELCO.

7.3 Modelo de sistema de control y monitoreo

Se instalarán un conjunto de sensores: acelerómetros. Estos sensores envían la señal digital ya convertida por el transductor, al adquisidor de datos quien los recibe y los envía al analizador, para esto existen tres posibilidades de conexión una red dedicada solo para este fin, utilizar la red Ethernet de la empresa o utilizar tecnología inalámbrica. Las ventajas de una red dedicada es que se disminuyen las interferencias y problemas con la transferencia de datos ya que es una red sólo para este sistema, su desventaja radica en los costos de implementación pues hay que intervenir casi la totalidad de la planta. En el caso de ocupar la red Ethernet de la empresa, su ventaja es que es una red que ya existe y sólo se tendrían que hacer las conexiones en los puntos de medición y recepción, sin embargo el problema es que compartiría la red con todo el flujo de información del resto de la planta por lo que se podrían generar problemas, en el caso de la tercera opción, sus principales ventajas es que incluye las ventajas de las otras opciones, sería una red dedicada pero que no necesitaría intervención en la planta y solo utilizaría dispositivos de emisión y captura de señal. La decisión principalmente se basará en la intervención que se tenga que realizar en la planta y los costos asociados. Cuando la señal llega al dispositivo concentrador o también llamado medidor, que es quien recibe la señal y mediante el software calcula los valores RMS de la señal mediante la transformada rápida de Fourier. Esta

información es enviada a un servidor con una base de datos, el cual almacena toda la información y la emite a las estaciones de trabajo según los requerimientos que estas le hagan, es aquí donde se incorporaría el sistema experto, pues este revisaría cada cierto periodo de tiempo los equipos y emitiría el informe y la sub-orden según corresponda. Tanto los medidores con el servidor y las 4 estaciones de trabajo se conectan mediante la red Ethernet de la empresa ya que físicamente están muy próximos y no es necesario hacerlo inalámbricamente o con una red dedicada.

7.4 Esquema monitoreo condición

Los puntos de medición en la metodología monitoreo en línea se toman en los descansos, los puntos de medición se describirán en las siguientes figuras.

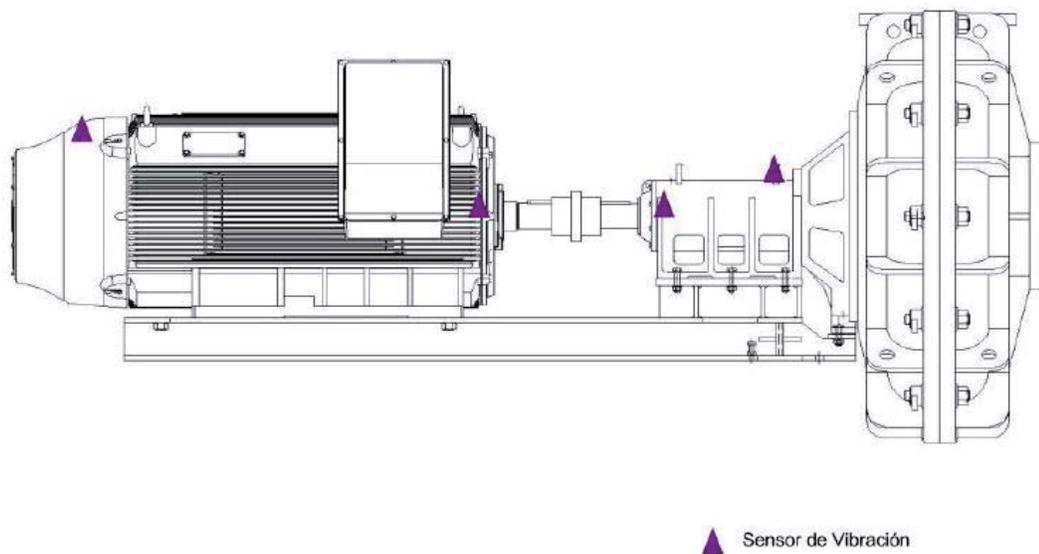


Figura 18: Esquema Monitoreo Bombas Centrifugas

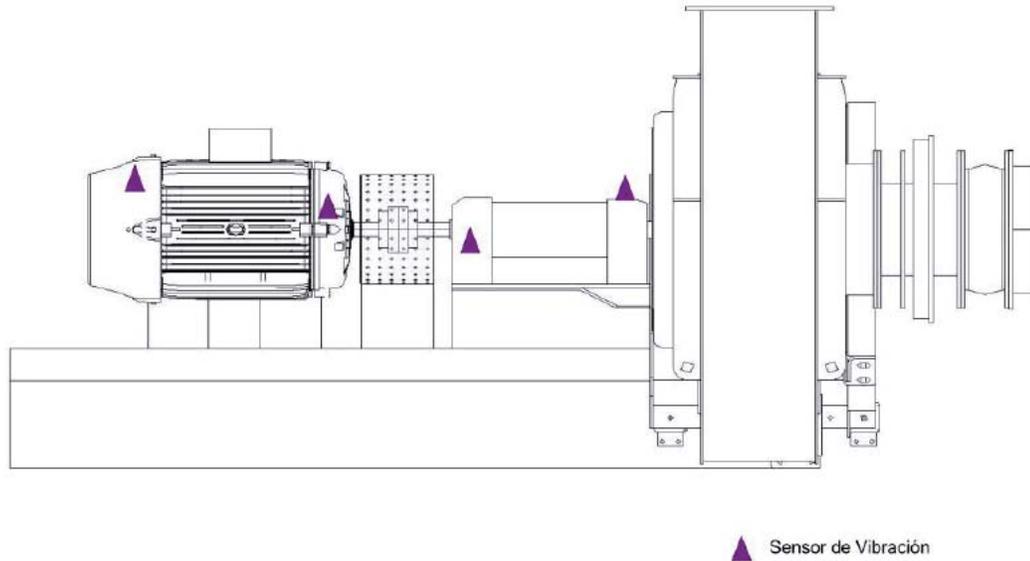


Figura 19: Esquema Monitoreo Extractor

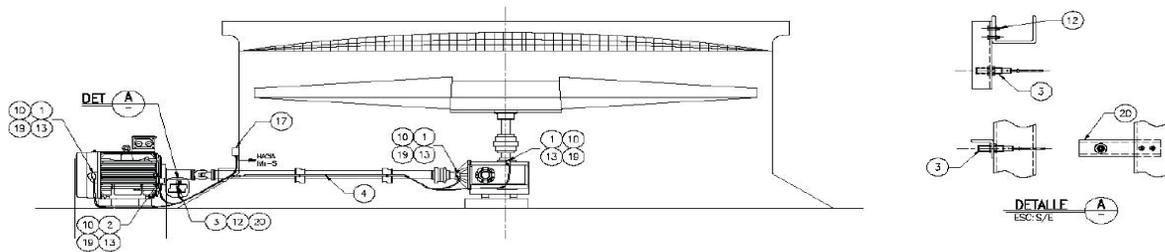


Figura 20: Esquema Monitoreo Ventilador

7.5 Medición de vibración en tiempo real

Se instalarán un conjunto de sensores: acelerómetros. Estos sensores envían la señal digital ya convertida por el transductor, al adquisidor de datos quien los recibe y los envía al analizador, para esto existen tres posibilidades de conexión una red dedicada solo para este fin, utilizar la red Ethernet de la empresa o utilizar tecnología inalámbrica, las ventajas de una red dedicada es que se disminuyen las interferencias y problemas con la transferencia de datos ya que es una red sólo para este sistema, su desventaja radica en los costos de implementación pues hay que intervenir casi la totalidad de la planta. En el caso de ocupar la red Ethernet de la empresa, su ventaja es que es una red que ya existe y sólo se tendrían que hacer las conexiones en los puntos de medición y recepción, sin embargo el problema es que compartiría la red con todo el flujo de

información del resto de la planta por lo que se podrían generar problemas, en el caso de la tercera opción, sus principales ventajas es que incluye las ventajas de las otras opciones, sería una red dedicada pero que no necesitaría intervención en la planta y solo utilizaría dispositivos de emisión y captura de señal. La decisión principalmente se basará en la intervención que se tenga que realizar en la planta y los costos asociados. Cuando la señal llega al dispositivo concentrador o también llamado medidor, que es quien recibe la señal y mediante el software calcula los valores RMS de la señal mediante la transformada rápida de Fourier. Esta información es enviada a un servidor con una base de datos, el cual almacena toda la información y la emite a las estaciones de trabajo según los requerimientos que estas le hagan, es aquí donde se incorporaría el sistema experto, pues este revisaría cada cierto periodo de tiempo los equipos y emitiría el informe y la sub-orden según corresponda. Tanto los medidores con el servidor y las 4 estaciones de trabajo se conectan mediante la red Ethernet de la empresa ya que físicamente están muy próximos y no es necesario hacerlo inalámbricamente o con una red dedicada.

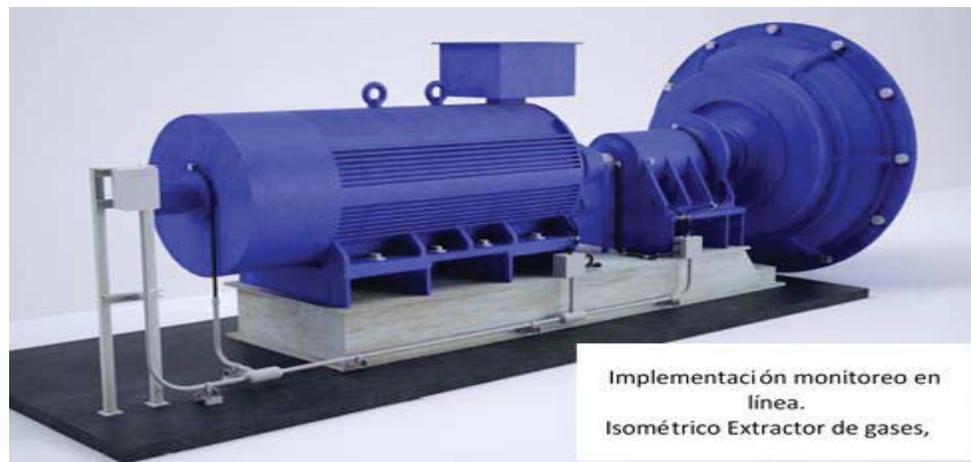


Figura 21: Isométrico Monitoreo Extractor

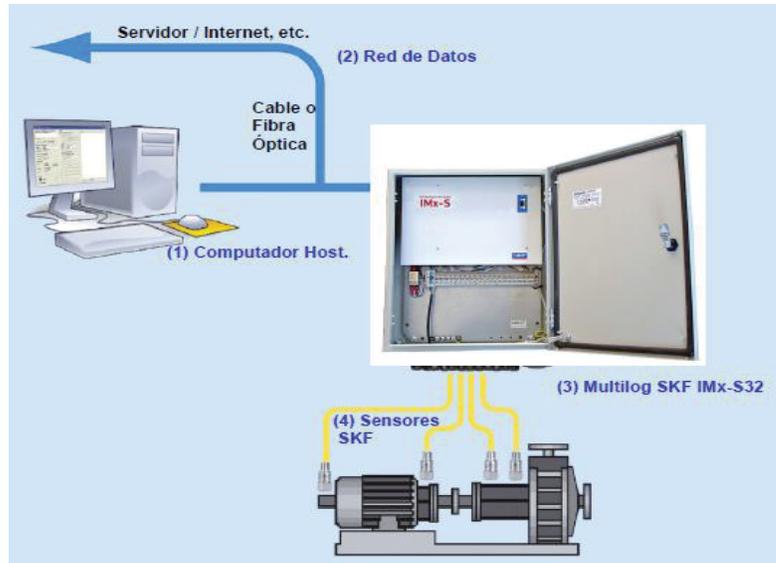


Figura 22: Esquema Monitoreo de vibración en líneas

7.6 Layout implementación

En la figura 23 se muestra la ubicación de los equipos en los cuales se instalarán los sensores de vibración. El canalizado y cableado se realizará por Conduit rígido montada sobre escalerillas existentes llegando a sala eléctrica donde se encuentra instalado el IMX como se muestra de la figura 24 a la 27.

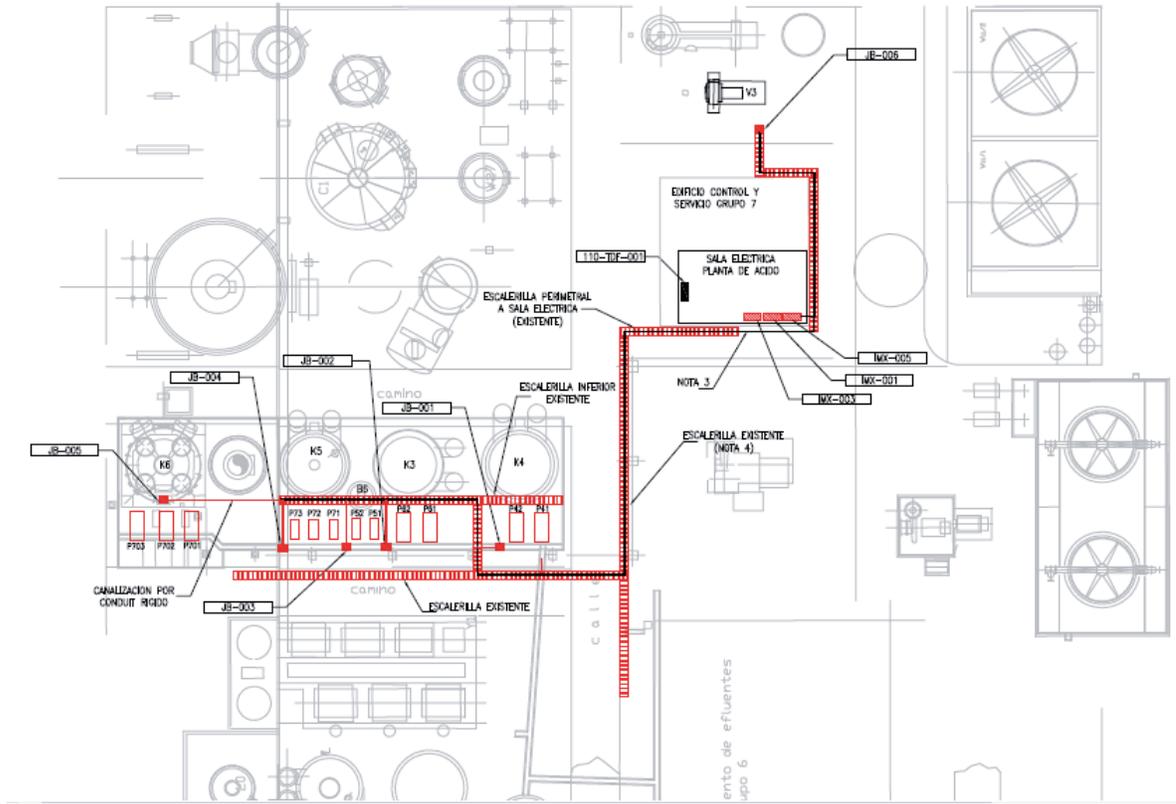


Figura 23: Layout equipos críticos

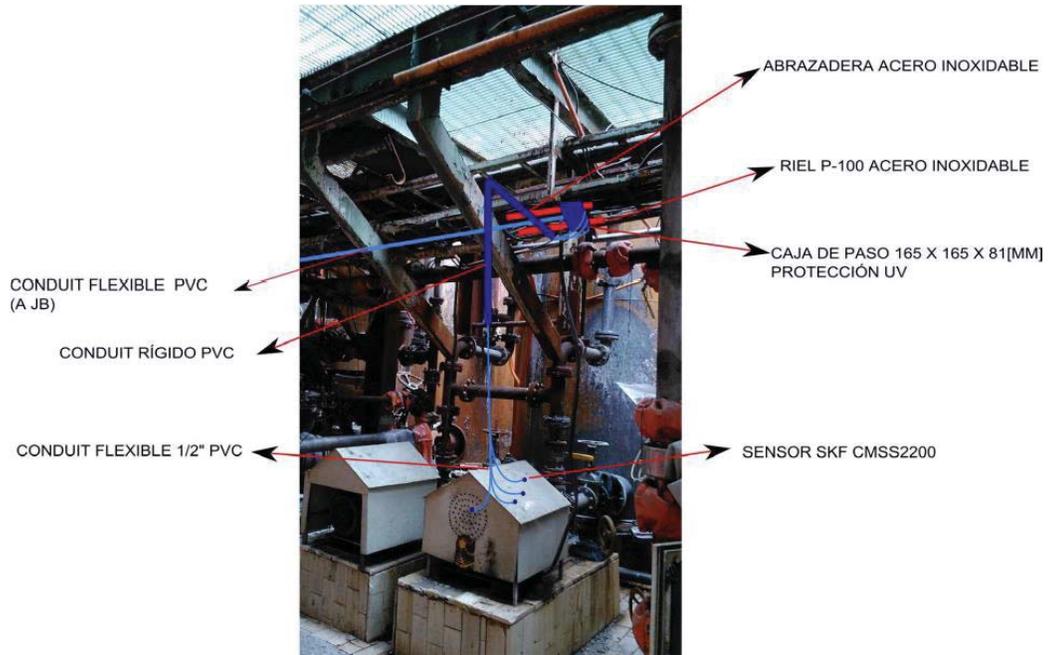


Figura 24: Esquema de instalación sistema monitoreo en línea Bombas P70-P7

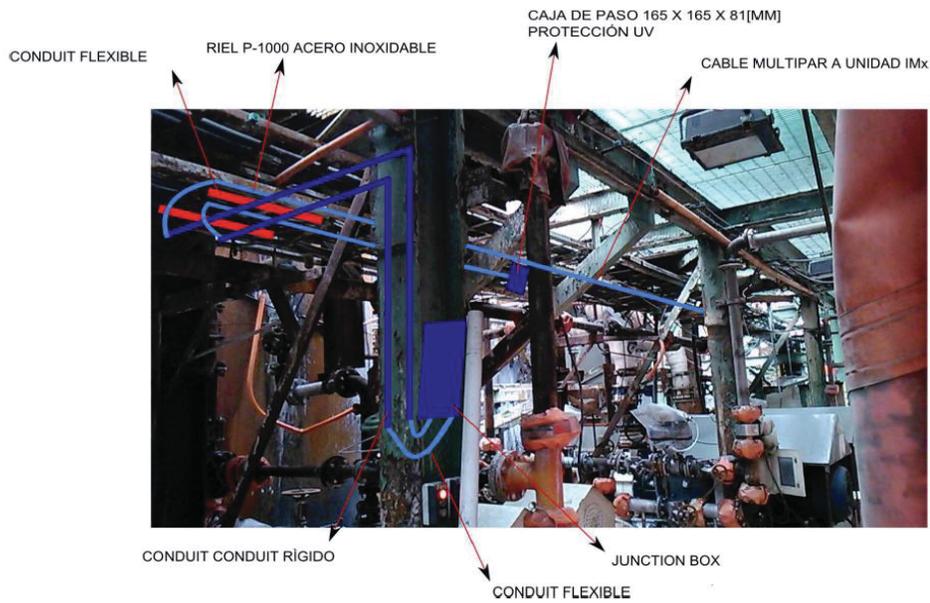


Figura 25: Esquema de instalación sistema monitoreo en línea Bombas P5-P6



Figura 26: Esquema de instalación sistema monitoreo en línea Bombas P4



Figura 27: Esquema de instalación sistema monitoreo en línea V10-VTI

7.7 Beneficios monitoreo continuo

- Reducción notable del período de mantenimiento.
- Reducción del personal de mantenimiento.
- Reducción de los gastos (mantenimiento correctivo).
- Eliminación de las averías por roturas inesperadas, fiabilidad y Productividad superiores.
- Eliminación de los daños en la producción final de alto costo debido a fallas.
- Se Analiza la causa- raíz de las fallas y se mejora la confiabilidad del equipo a través de acciones dirigidas a evitar falla, por ejemplo, alineación, balanceo, revisión de diseño, montaje, lubricación.

7.7.1 Ventajas del mantenimiento predictivo basado en monitoreo continuo

- Se eliminan desmontajes innecesarios: debido a que el análisis de vibraciones se puede realizar con la máquina en funcionamiento, es posible monitorear sus componentes internos sin necesidad de desmontar piezas.
- Reducir los costos de mantenimiento planificado correctivo.
- Reducción de tiempos de paro: mediante el análisis de vibraciones se pueden detectar desde el inicio las fallas de componentes en las máquinas, por lo que es posible corregir el problema en los períodos normales de mantenimiento de la máquina sin necesidad que esta llegue a fallar. Se evitan daños destructivos: es posible anticipar daños catastróficos en equipos críticos que podrían provocar grandes paros de producción y daños al personal, ya que permite seguir la evolución de un defecto en el tiempo.
- Reducir HH y optimizar tiempo de análisis, el analista no tendrá que ir a terreno y se dedicara completamente a realizar análisis e informes de todos los equipos rotativos de la planta.

7.8 Sistemas actuales de monitoreo y control existentes en el mercado

En la actualidad existen una gran diversidad de empresas que ofrecen distintas tecnologías para realizar un análisis de monitoreo continuo en equipos rotativos, para este proyecto se solicitaron dos propuestas para implementar un sistema de medición continua estas empresas son SKF y CST, estas propuestas contemplan equipos (sensores, cables, servidores, software, etc.) y capacitaciones. Ver anexo 4

7.8.1 Análisis propuesta empresas SKF y CST

Para este análisis de realizaran una ponderación a las variables que Codelco división ventana estima conveniente para este proyecto.

A cada empresa se asignará una puntuación de 1-10 para determinar cuál propuesta satisface completamente las necesidades del proyecto. Rango ponderación, 0-5: No cumple, Mayor a 5: Cumple.

DETERMINACION DE VARIABLES	% DE PRIORIDAD	EMPRESAS			
		SKF		CST	
		Nota	Ponderación	Nota	Ponderación
*\$ Inversión	30	10	3	5	1,15
Garantía	10	10	1	5	0,5
Acceso vía web	10	10	1	0	0
Compatibilidad	10	10	1	0	0
Intervención en Planta	20	10	2	10	2
Sistema experto	20	10	2	10	2
TOTAL	100%		10		5,6

*\$ inversión hace referencia a la opción más económica para la empresa

*Garantía mínimo 1 años (mantención o cambio de equipos, asesoría técnica, curso y capacitaciones).

*Compatibilidad hace referencia con el software utilizado por el área para realizar los análisis de vibración

Tabla 29: *Evaluación técnica de cotizaciones*

De acuerdo con la evaluación la empresa SKF cumple con el grado de satisfacción, y requerimientos de la empresa. Se determina realizar proyecto y evaluación económica con la propuesta satisfactoria.

8 Evaluación económica

8.1 Evaluación económica implementación sistema monitoreo vibración

Ingeniería mantenimiento predictivo tomo como nueva política realizar mediciones de vibración online en ventilador centrifugo como piloto para futuro poder monitorear toda la planta.

8.2 Localización de monitoreo y análisis

La mejora se realizará en la planta de ácido donde se instalarán 72 sensores para medir vibraciones en 18 activos, los análisis de vibraciones se realizan en las dependencias de las oficinas Ingeniería mantenimiento predictivo, planta CODELCO División Ventanas.

8.3 Personal necesario

Se necesita tener una persona que realice el trabajo de análisis y reportes. Las personas que pertenecen al dpto. De ingeniería mantención predictiva tienen que cumplir con los requisitos para realizar el curso de capacitación de vibraciones ISO- 18436-2.

En la actualidad, los ingenieros del área todos tienen curso de vibraciones ISO- 18436-2.

8.4 Presupuesto área ingeniería mantenimiento predictivo

La inversión para este proyecto sale del presupuesto anual del departamento Ingeniería Mantenimiento Predictivo. El presupuesto del departamento se distribuye de la siguiente manera.

PRESUPUESTO INGENIERÍA MANTENIMIENTO PREDICTIVO	
CONTRATOS	80%
<ul style="list-style-type: none">• Termografía, medición de espesor, partículas magnéticas, tintas penetrantes• Medición vibraciones, alineamiento Laser	
PROYECTOS	20%

Tabla 30: Presupuesto Mantenimiento predictivo

El presupuesto anual del departamento es de USD 467.741 donde el 20% es destinado para proyectos.

8.5 Costos por mantención correctiva

Los costos asociados a mantención correctiva en un año son de USD 226.969. Es difícil determinar el impacto del proyecto por consecuencia se toma como una reducción máxima de costos.

8.6 Análisis de escenario

Pérdida promedio en producción por falla de equipo crítico.

Toneladas producidas	producción TON	Costo USD
Ton/día	197,26	59.178,08
Ton/hr	8,22	2.465,75
Ton/año (365d)*	72.000	21.600.000
Ton/año (306 disponible)*	60.361	18.108.300

Tabla 31: *Perdida en producción Ácido sulfúrico*

Cualquier falla que implique una detención de producción de ácido sulfúrico y metal blanco. Estos gases generados en fundición no pueden ser captados por el ventilador y como consecuencia se irían al medio ambiente, trayendo como consecuencia la detención de la planta.

8.7 Moneda a utilizar

La evaluación económica se realizará en Dólares, ya que este indicador incluye los efectos de la inflación facilitando su aplicación a futuro. Para tal efecto se utilizará el dólar del día 22 de Octubre de 2016 con un valor \$640.

8.8 Tasa de descuento

La tasa de descuento es la tasa que le exige el inversionista al proyecto por el costo de oportunidad de la inversión. Es la tasa de exigencia del rendimiento del proyecto. A mayor tasa de descuento, mayor es la exigencia que se le pide a un proyecto. La tasa de descuento a utilizar es de un 8%.

8.9 Costos operacionales

Por parte de CODELCO División Ventanas los costos operacionales aplicados para este proyecto lo que implica en sensores, servidores, etc. son despreciables.

Los costos operacionales propuestos por la empresa SKF implican, cambio de sensor, asistencia técnica que equivale un valor de \$2.350 \$USD.

8.10 Años de evaluación del proyecto

Como es una implementación de una nueva tecnología se fija un horizonte de evaluación de 5 años, ajustándose con los requerimientos de los nuevos tiempos.

8.11 Flujo de caja

El objetivo de celular un flujo de caja es cuantificar en forma real de acuerdo a los beneficios, costos e inversiones asociadas, las ganancias o pérdidas que representen para la empresa la implementación de este nuevo sistema.

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Beneficios aumento disponibilidad (+)		USD 1.490.400				
Beneficios disminución mediciones y analisis (+)		USD 17.280				
Beneficios Disminución costos de mantenimiento (+)		USD 226.969				
Costos Operacionales (-)		USD 2.350				
Inversión (-)	USD 84.156	0	0	0	0	0
Flujo Anual	USD -84.156	USD 1.732.299				

Tasa de descuento	8%
VAN	USD 6.832.412

Tabla 32: Flujo caja monitoreo On-Line

De acuerdo con el cálculo realizado se obtiene un VAN de \$USD 6.832.412, mayor a cero y mayor a la inversión inicial. De acuerdo con el VAN la viabilidad del proyecto es segura.

9 Conclusión

Es indispensable que todas las empresas mineras apliquen la técnica de análisis predictivo de vibraciones dentro de sus planes de Mantenimiento; pues de esa manera podrá reducir el número de horas de intervenciones de mantenimiento, mejorando su producción y obteniendo mayores utilidades.

Este proyecto se determinó cuáles son los equipos que resultan ser más riesgosos tanto para la seguridad, medio ambiente y producción, los cuales deben tener contingencias el mínimo de tiempo posible, para así estar siempre disponibles y seguros que cumplirán con el trabajo para el que fueron diseñados de manera óptima.

Luego de identificar que equipos que se encuentran en una posición desfavorable en términos de mantenimiento, mediante los resultados obtenidos usando método como el diagrama Jack Knife, se determinó los equipos críticos de la planta de ácido.

Las políticas de mantenimiento a aplicar a cada componente de los equipos críticos fueron fácilmente asignables incorporando el uso de la metodología de análisis FMECA, en el cual se evalúa los efectos y consecuencias de cada modo de falla.

Se pudo identificar y priorizar qué equipos necesitan atención especial al momento de planificar sus mantenimientos. Además, de acuerdo al análisis Sintomático, se conoce el estado de los principales componentes en todos los equipos, entregando la condición más crítica de éstos.

La elaboración de este trabajo arrojó que hay ciertos equipos que necesitan especial atención; grupo 3 en planta de ácido y ventilador principal (v-10) son equipos que necesitan continuidad para el proceso, y que por sus posibles consecuencias fueron evaluados como críticos, por lo que se necesita determinar la viabilidad de poder implementar un sistema de monitoreo en línea que sea capaz de identificar problemas antes que sucedan sus efectos, y así optimizar de manera global el proceso productivo de la Planta de Codelco división Ventanas.

Al realizar un monitoreo a aquellos equipos más riesgosos dentro de la planta requiere de una inversión importante; no obstante, el ahorro que se estaría generando al disminuir los tiempos de reparación de los mismo podrían en poco tiempo retornar lo invertido.

Se establece puntos de medición y configuración para un sistema de monitoreo On-Line con esto Codelco tiene las herramientas suficientes para realizar por su cuenta futuros monitoreo en otros equipos rotativos para así aumentar la productividad y preservar la seguridad de los trabajadores de toda la planta. La rentabilidad puede aumentar al monitorear más equipos semi-críticos, existiendo mayor posibilidad de evitar costos elevados por mantención.

Impactos del proyecto rentabilidad de la empresa.

En términos generales realizar un monitoreo a aquellos equipos más riesgosos dentro de la planta requiere de una inversión importante; no obstante, el ahorro que se estaría generando al disminuir los tiempos de mantención y asegurar una elevada disponibilidad podría en poco tiempo retornar lo invertido.

Impacto	Positivo	Negativo
Económico	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Ahorros en tiempos de mantención. ❖ Horas hombre para realizar medición, inspección, reparación. ❖ Disminuir costos por reparación. <p>Permitirá reasignar recursos para futuros proyectos.</p>	
Ambiental y seguridad	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Al aumentar la confiabilidad del equipo y monitorear el comportamiento y funcionamiento en tiempo real disminuye la probabilidad de catástrofe ambientales. 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ No tiene impacto ambiental la instalación de un monitoreo continuo

Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Aumentar la vida útil de las componentes mecánicas ❖ Disminuir mantenimiento correctivo ❖ Optimización de tiempo para la evaluación de equipos. 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Falta de analista para realizar trabajo de evaluación. (dos no dan abasto para toda la planta)
Poder de negociación	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Aumentar competencia ❖ Obtener más facilidades para el proceso de compra 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Falta de stock. ❖ Manejo de precio.

Tabla 33: Impacto del proyecto

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Orlando E. 2008, Mantenimiento industrial, Macaz, Ecuador.

- [2] Pascual R. 2007, El arte de Mantener Dpto. Ingeniería Mecánica, Universidad de Chile, Santiago de Chile.

- [3] Romo O. 2002, Aplicación del análisis de vibraciones mecánicas en el plan de mantenimiento de la línea de producción paneles Arauco, Dpto. Ingeniería mecánica, Universidad de Concepción, Concepción, Chile.

- [4] Rubio M. 2008 Modernización de plataforma de pruebas de talleres eléctricos de Rancagua en Codelco, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile.

- [5] Saavedra P. apuntes curso mantenimiento predictivo. Universidad de concepción, Concepción, Chile.

- [6] Saavedra P. Diagnóstico de Fallas en Máquinas Rotatorias Mediante Análisis de Vibraciones. Concepción, Chile, 2002.

- [7] Saavedra P. La Medición y Análisis de las Vibraciones como Técnica de Inspección de Equipos y Componentes, Aplicaciones, Normativas y Certificación. Concepción, Chile.

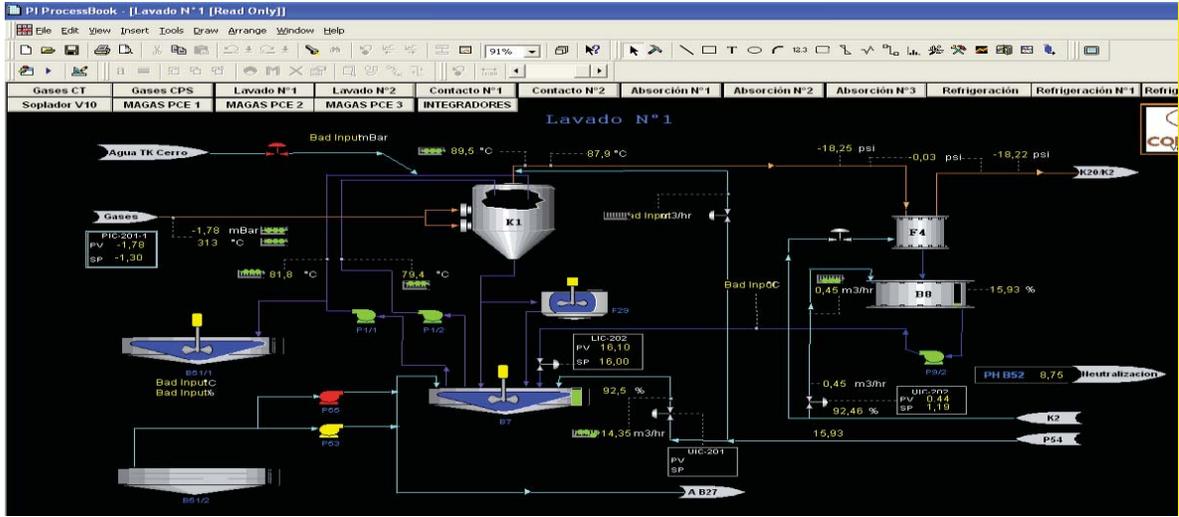
- [8] Mosquera G 2001, “vibraciones mecánicas aplicadas al mantenimiento predictivo, Centros de altos estudios, caracas, Venezuela.

- [9] ORGANIZACIÓN Internacional de Estandarización. Evaluation of Machine Vibration by Measurements o Non-rotating Parts. ISO 10816 1-6: 1995.

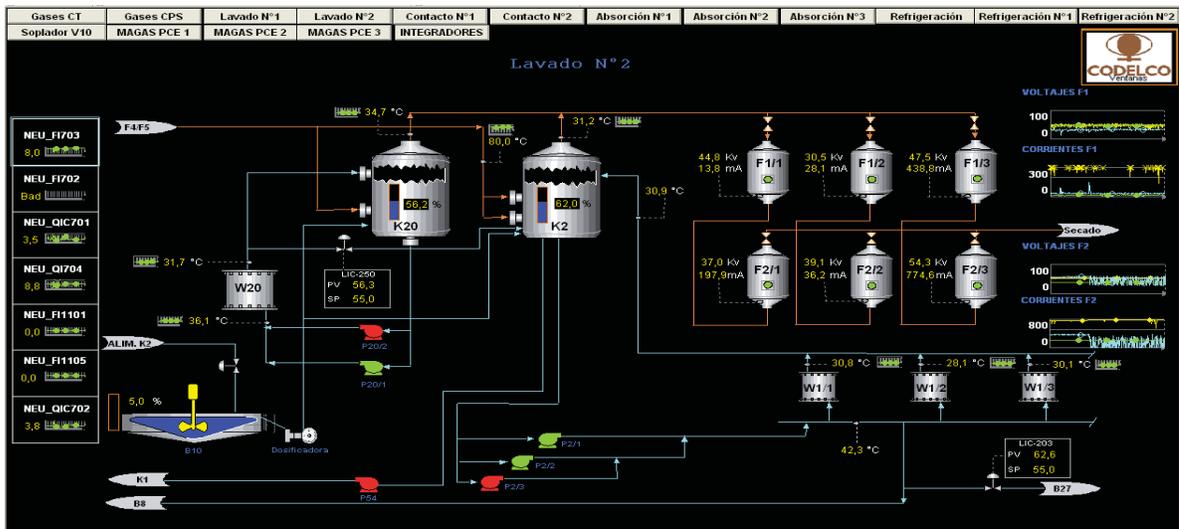
ANEXOS

Anexo 1: Proceso Planta ácido

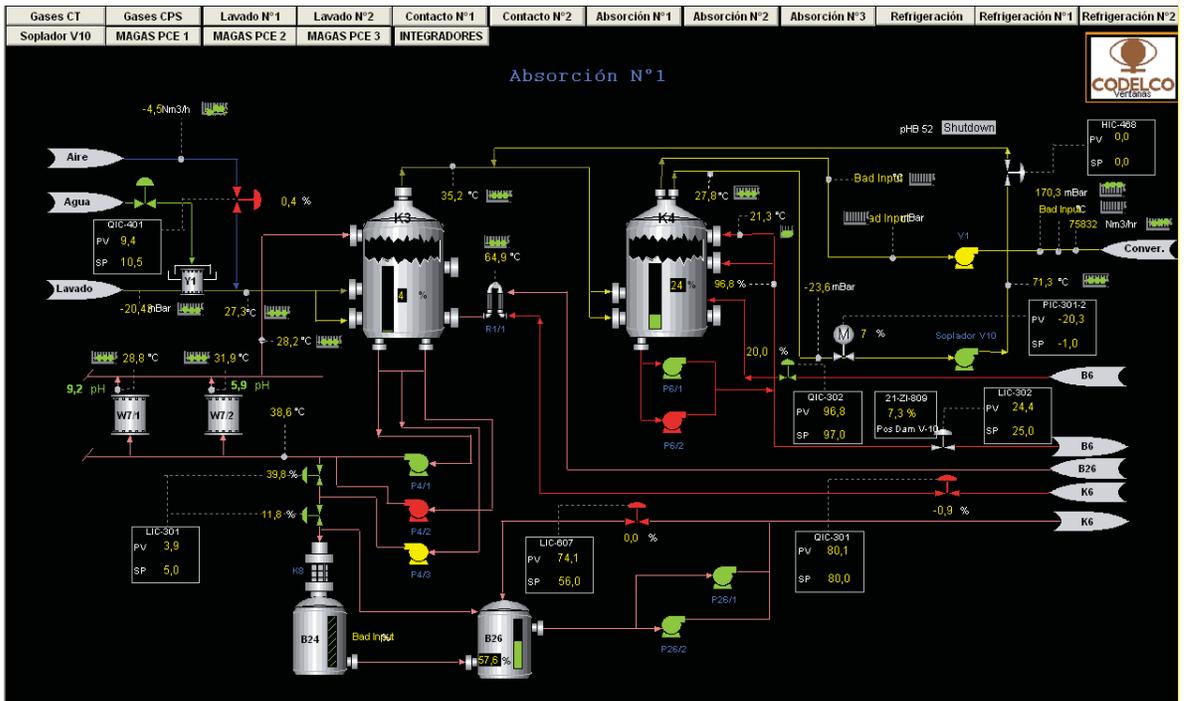
Proceso lavados N°1



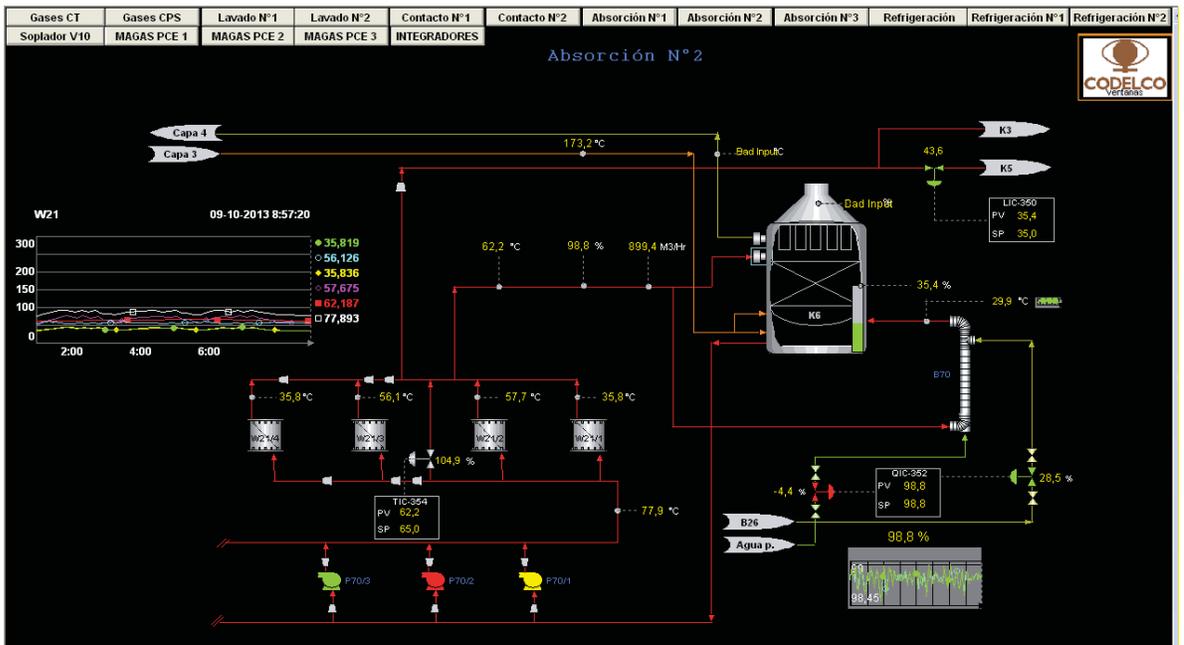
Proceso Lavados N° 2



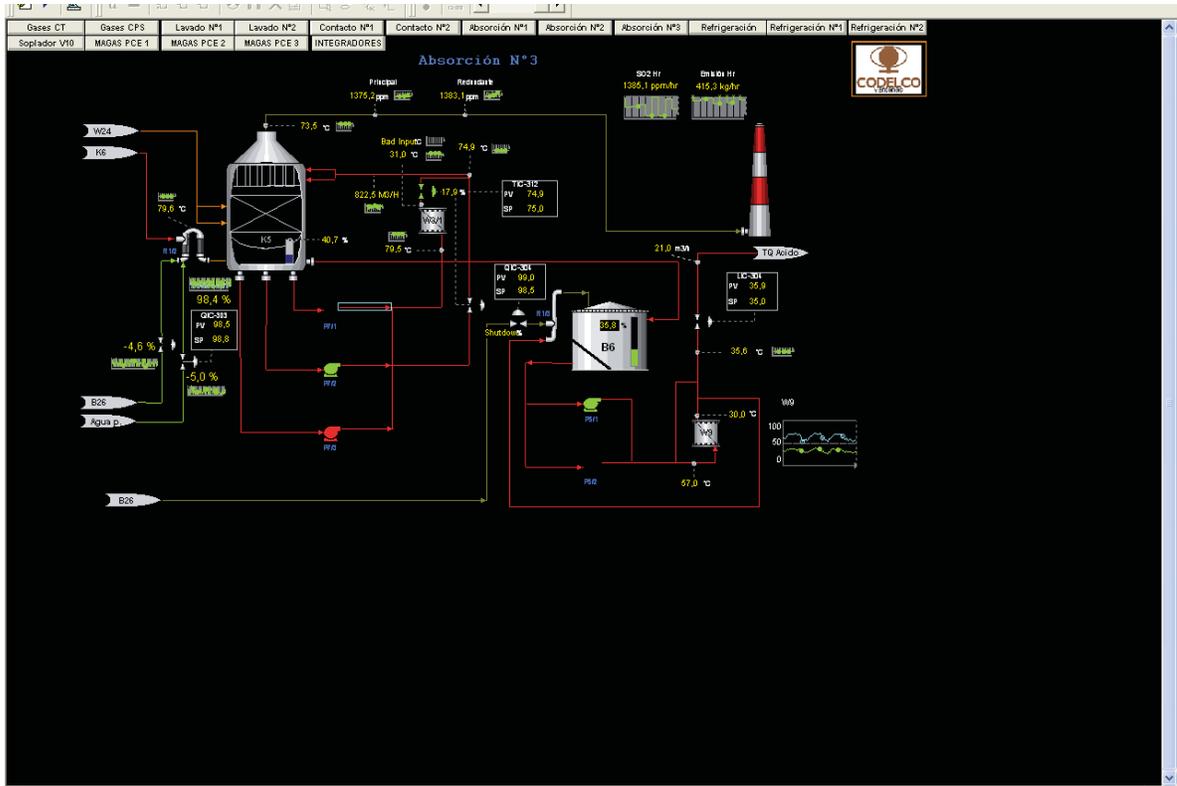
Proceso Absorción N° 1



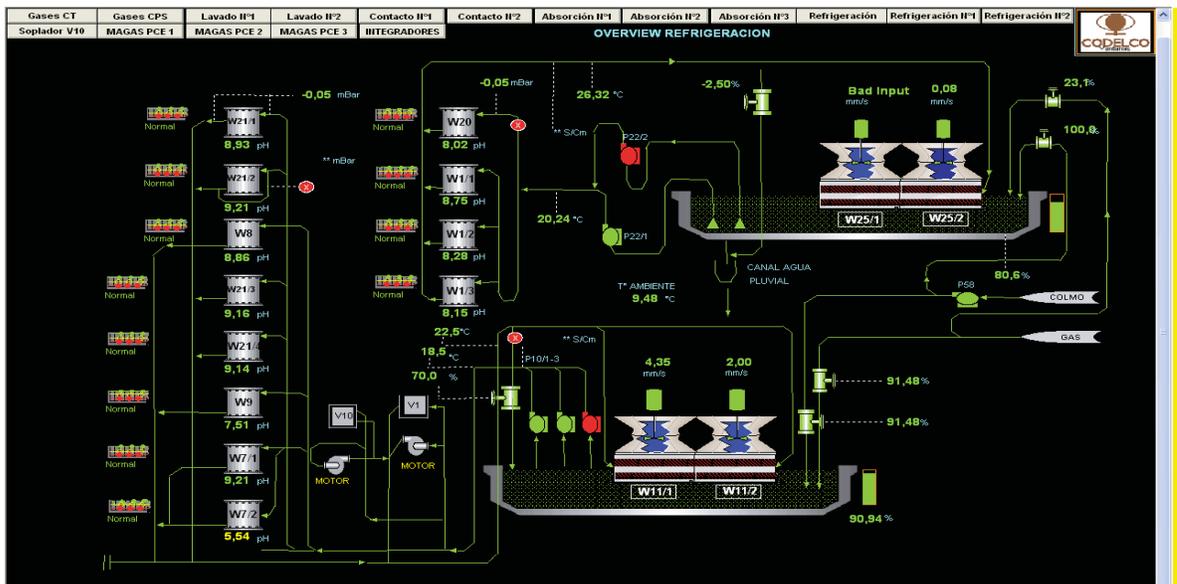
Proceso Absorción N°2



Proceso Absorción N°3



Proceso Refrigeración



Anexo 2: FMECA, Bomba P4-1

 PLANTA DE ÁCIDO Bombas Centrifugas TAG: BBA P4-1		ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA FMECA					CODELCO CHILE - DIVISION VENTANAS SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO									
							CLASIFICACIÓN DE SEVERIDAD					RPN			Valor	
FALLA FUNCIONA	cód	MODO DE FALLA	Ítem	DESCRIPCION MODO DE FALLA	CAUSA DE FALLA	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	FO	SF	MA	IC	OR	OC	S	O	D	RPN
1. Interrupción proceso secado de gases, pérdida controlada de producción, posibles daños a la comunidad.	A	Falla Sistema Bombeo. BOMBA CENTRIFUGA RHEINHUTTE	1-A-1	Falla los rodamientos de la bomba	1. Falla de rodamientos por término de vida útil -Falla por déficit de lubricación -Falla por contaminación del lubricante. -Falla por un desalineamiento severo	1. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y temperatura para realizar detección de falla en rodamientos, condición del rodete, anomalías en lubricación.	1	0	0	0	3	0	0,95	4	2	5,7
			1-A-2	Falla lubricación de la bomba	2. Falla lubricación de la bomba debido a contaminación del lubricante por problemas de sellado, -Desgaste de la camisa de empaque -Falla por déficit por no ejecución de la lubricación -Falla por frecuencia inadecuada de relubricación	2. Realizar ruta de lubricación para verificar nivel de aceite, filtraciones, estado del visor, estado de los vasos de rellenos automáticos y venteos de la bomba, Realizar cambio de aceite semanal de la bomba (conjunto rotatorio) producto de la contaminación con agua y lodo en caso que amerite.	0	0	0	0	2	0	0,60	3	1	1,8
			1-A-3	Falla por pérdida de sellado	3. Falla por pérdida de sellado -Falla rotura de caras de sello mecánico -Falla o-ring debido a desgaste o rotura	3. Realizar ruta de inspección preventiva mecánica para verificar el estado de carcasa, ruido en rodamientos en caso de no ser percibido por el inspector sintomático, fugas debido a la pérdida de sellado, verificar estado prensa estopa, niveles de aceite, válvulas de corte, filtraciones por cuellos rotos en ductos de aspiración y descarga de bomba.	1	0	1	0	3	0	1,05	4	1	4,2
			1-A-4	Falla por pérdida de eficiencia	4. Desgaste y rotura de alabe.	4. Realizar ruta de medición sintomática de vibración para realizar detección de frecuencia paso alabe.	1	0	1	0	3	0	1,05	3	1	3,15
	B	Falla motor eléctrico MOTOR 86KW ABB	2-B-1	Falla rodamiento del motor	1. Falla rodamiento por desgaste, término vida útil, pérdida ajuste o lubricación inadecuada exceso o déficit	1. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y de temperatura, ver estado rodamiento, verificar el estado del ventilador con lámpara estroboscópica	1	0	0	0	1	0	0,35	2	1	0,7
			2-B-2	Falla ventilación motor	2. Falla la ventilación por obstrucción de la ventilación, roce interno, presencia de polvo.	2. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y de temperatura, ver estado rodamiento, verificar el estado del ventilador con lámpara estroboscópica	1	0	0	0	1	0	0,35	1	1	0,35
			2-B-3	Falla de aislamiento	3. Falla del aislamiento por sobrecarga o alguna conexión suelta.	3. Realizar ruta de inspección preventiva electrocontrol para revisar la ventilación del motor, medición temperatura, ver soldadura en el prensa cable, daño en el termocontraible que reduce el aislamiento, revisión de las puesta a tierra.	1	0	0	0	3	0	0,95	2	2	3,8
	C	TRANSMISIÓN	2-C-1	Falla acoplamiento	1. Falla acoplamiento -Falla inserto debido a desalineamiento severo -Falla por desgaste de eje -Falla por desplazamiento de machon	1. Realizar ruta de inspección sintomática de vibración y de termografía, ver estado acoplamiento con estroboscópica.	1	1	0	0	1	0	0,55	4	2	4,4

Bomba P4_2

 PLANTA DE ÁCIDO Bombas Centrifugas TAG: BBA P4-2		ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA FMECA										CODELCO CHILE - DIVISION VENTANAS SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO					
		FALLA FUNCIONAL		cód	MODO DE FALLA	ítem	DESCRIPCION MODO DE FALLA	CAUSA DE FALLA	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	CLASIFICACIÓN DE SEVERIDAD					RPN		
								FO	SF	MA	IC	OR	OC	S	O	D	RPN
1. Interrupción proceso secado de gases, pérdida controlada de producción, posibles daños a la comunidad.	A	Falla Sistema Bombeo. BOMBA CENTRIFUGA RHEINHUTTE	1-A-1	Falla los rodamientos de la bomba	1. Falla de rodamientos por terminó de vida útil -Falla por deficit de lubricación -Falla por contaminación del lubricante. -Falla por un desalineamiento severo	1. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y temperatura para realizar detección de falla en rodamientos, condición del rodete, anomalías en lubricación.	1	0	0	0	3	0	0,95	3	2		4,275
			1-A-2	Falla lubricación de la bomba	2. Falla lubricación de la bomba debido a contaminación del lubricante por problemas de sellado, -Desgaste de la camisa de empaque -Falla por deficit por no ejecución de la lubricación -Falla por frecuencia inadecuada de relubricación	2. Realizar ruta de lubricación para verificar nivel de aceite, filtraciones, estado del visor, estado de los vasos de rellenos automáticos y venteos de la bomba, Realizar cambio de aceite semanal de la bomba (conjunto rotatorio) producto de la contaminación con agua y lodo en caso que amerite.	0	0	0	0	2	0	0,60	3	1		1,8
			1-A-3	Falla por pérdida de sellado	3. Falla por pérdida de sellado -Falla rotura de caras de sello mecanico -Falla o-ring debido a desgaste o rotura	3. Realizar ruta de inspección preventiva mecánica para verificar el estado de carcasa, ruido en rodamientos en caso de no ser percibido por el inspector sintomático, fugas debido a la pérdida de sellado, verificar estado prensa estopa, niveles de aceite, válvulas de corte, filtraciones por cuellos rotos en ductos de aspiración y descarga de bomba.	1	0	1	0	3	0	1,05	4	1		4,2
			1-A-4	Falla por pérdida de eficiencia	4. Desgaste y rotura de alabe.	4. Realizar ruta de medición sintomática de vibración para realizar detección de frecuencia paso alabe.	1	0	1	0	3	0	1,05	4	1		4,2
	B	Falla motor eléctrico MOTOR 86KW ABB	2-B-1	Falla rodamiento del motor	1. Falla rodamiento por desgaste, termino vida util, perdida ajuste o lubricación inadecuada exceso o deficit	1. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y de temperatura, ver estado rodamiento, verificar el estado del ventilador con lámpara estroboscópica	1	0	0	0	1	0	0,35	2	1		0,7
			2-B-2	Falla ventilación motor	2. Falla la ventilación por obstrucción de la ventilación, roce interno, presencia de polvo.	2. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y de temperatura, ver estado rodamiento, verificar el estado del ventilador con lámpara estroboscópica	1	0	0	0	1	0	0,35	1	1		0,35
			2-B-3	Falla de aislamiento	3. Falla del aislamiento por sobrecarga o alguna conexión suelta.	3. Realizar ruta de inspección preventiva electrocontrol para revisar la ventilación del motor, medición temperatura, ver soldadura en el prensa cable, daño en el termocontraible que reduce el aislamiento, revisión de las puesta a tierra.	1	0	0	0	3	0	0,95	3	2		5,7
	C	TRANSMISIÓN	2-C-1	Falla acoplamiento	1. Falla acoplamiento -Falla inserto debido a desalineamiento severo -Falla por desgaste de eje -Falla por desplazamiento de machon	1. Realizar ruta de inspección sintomática de vibración y de termografía, ver estado acoplamiento con estroboscópica.	1	1	0	0	1	0	0,55	4	2		4,4

Bomba P7_2

		PLANTA DE ÁCIDO		ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA FMECA						CODELCO CHILE - DIVISION VENTANAS						
		Bombas Centrifugas								SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO						
		TAG: BBA P7-2								CLASIFICACIÓN DE SEVERIDAD			RPN		Valor	
FALLA FUNCIONA	cód	MODO DE FALLA	ítem	DESCRIPCION MODO DE FALLA	CAUSA DE FALLA	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	FO	SF	MA	IC	OR	OC	S	O	D	RPN
1. Posibles efectos contaminantes en la zona, problemas en el almacenamiento de ácido sulfúrico, interrupción proceso productivo.	A	Falla Sistema Bombeo. BOMBA CENTRIFUGA RHEINHUTTE	1-A-1	Falla los rodamientos de la bomba	1. Falla de rodamientos por término de vida útil -Falla por déficit de lubricación -Falla por contaminación del lubricante. -Falla por un desalineamiento severo	1. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y temperatura para realizar detección de falla en rodamientos, condición del rodete, anomalías en lubricación.	1	0	0	0	3	0	0,95	3	2	4,275
			1-A-2	Falla lubricación de la bomba	2. Falla lubricación de la bomba debido a contaminación del lubricante por problemas de sellado, -Desgaste de la camisa de empaque -Falla por déficit por no ejecución de la lubricación -Falla por frecuencia inadecuada de relubricación	2. Realizar ruta de lubricación para verificar nivel de aceite, filtraciones, estado del visor, estado de los vasos de rellenos automáticos y venteos de la bomba, Realizar cambio de aceite semanal de la bomba (conjunto rotorio) producto de la contaminación con agua y lodo en caso que amerite.	0	0	0	0	2	0	0,60	2	1	1,2
			1-A-3	Falla por pérdida de sellado	3. Falla por pérdida de sellado -Falla rotura de caras de sello mecánico -Falla o-ring debido a desgaste o rotura	3. Realizar ruta de inspección preventiva mecánica para verificar el estado de carcasa, ruido en rodamientos en caso de no ser percibido por el inspector sintomático, fugas debido a la pérdida de sellado, verificar estado prensa estopa, niveles de aceite, válvulas de corte, filtraciones por cuellos rotos en ductos de aspiración y descarga de bomba.	1	0	1	0	3	0	1,05	2	1	2,1
			1-A-4	Rotura de eje	1. Falla fractura de eje -Falla por desalineamiento severo -Trabamiento de impulsor -Falla de rodamiento	4. 1. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y temperatura para realizar detección de falla en rodamientos, condición del rodete y desalineamiento severo	1	1	0	0	2	3	1,00	2	2	4
			1-A-5	Falla por pérdida de eficiencia	4. Desgaste y rotura de alabe.	4. Realizar ruta de medición sintomática de vibración para realizar detección de frecuencia paso alabe.	1	0	1	0	3	0	1,05	3	1	3,15
	B	Falla motor eléctrico MOTOR 86KW ABB	2-B-1	Falla rodamiento del motor	1. Falla rodamiento por desgaste, término vida útil, pérdida ajuste o lubricación inadecuada exceso o déficit	1. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y de temperatura, ver estado rodamiento, verificar el estado del ventilador con lámpara estroboscópica	1	0	0	0	1	0	0,35	2	1	0,7
			2-B-2	Falla ventilación motor	2. Falla la ventilación por obstrucción de la ventilación, roce interno, presencia de polvo.	2. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y de temperatura, ver estado rodamiento, verificar el estado del ventilador con lámpara estroboscópica	1	0	0	0	1	0	0,35	1	1	0,35
			2-B-3	Falla de aislamiento	3. Falla del aislamiento por sobrecarga o alguna conexión suelta.	3. Realizar ruta de inspección preventiva electrocontrol para revisar la ventilación del motor, medición temperatura, ver soldadura en el prensa cable, daño en el termocontraible que reduce el aislamiento, revisión de las puesta a tierra.	1	0	0	0	3	0	0,95	2	2	3,8
	C	TRANSMISIÓN	2-C-1	Falla acoplamiento	1. Falla acoplamiento -Falla inserto debido a desalineamiento severo -Falla por desgaste de eje -Falla por desplazamiento de machon	1. Realizar ruta de inspección sintomática de vibración y de termografía, ver estado acoplamiento con estroboscópica.	1	1	0	0	1	0	0,55	2	2	2,2

Bomba P7_1

 PLANTA DE ÁCIDO Bombas Centrifugas TAG: BBA P7-1		ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA FMECA						CODELCO CHILE - DIVISION VENTANAS SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO								
								CLASIFICACIÓN DE SEVERIDAD					RPN			Valor
FALLA FUNCIONA	cód	MODO DE FALLA	ítem	DESCRIPCION MODO DE FALLA	CAUSA DE FALLA	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	FO	SF	MA	IC	OR	OC	S	O	D	RPN
1. Posibles efectos contaminantes en la zona, problemas en el almacenamiento de ácido sulfúrico, interrupción proceso productivo.	A	Falla Sistema Bombeo. BOMBA CENTRIFUGA RHEINHUTTE	1-A-1	Falla los rodamientos de la bomba	1. Falla de rodamientos por terminó de vida útil -Falla por deficit de lubricación -Falla por contaminación del lubricante. -Falla por un desalineamiento	1. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y temperatura para realizar detección de falla en rodamientos, condición del rodete, anomalidades en lubricación.	1	0	0	0	3	0	0,95	4	2	5,7
			1-A-2	Falla lubricación de la bomba	2. Falla lubricación de la bomba debido a contaminación del lubricante por problemas de sellado, -Desgaste de la camisa de empaque -Falla por deficit por no ejecución de la lubricación -Falla por frecuencia inadecuada de	2. Realizar ruta de lubricación para verificar nivel de aceite, filtraciones, estado del visor, estado de los vasos de rellenos automáticos y venteos de la bomba, Realizar cambio de aceite semanal de la bomba (conjunto rotatorio) producto de la contaminación con agua y lodo en caso que amerite.	0	0	0	0	2	0	0,60	3	1	1,8
			1-A-3	Falla por pérdida de sellado	3. Falla por pérdida de sellado -Falla rotura de caras de sello mecanico -Falla o-ring debido a desgaste o rotura	3. Realizar ruta de inspección preventiva mecánica para verificar el estado de carcasa, ruido en rodamientos en caso de no ser percibido por el inspector sintomático, fugas debido a la pérdida de sellado, verificar estado prensa estopa, niveles de aceite, válvulas de corte, filtraciones por cuellos rotos en ductos de aspiración y descarga de bomba.	1	0	1	0	3	0	1,05	4	1	4,2
			1-A-4	Rotura de eje	1. Falla fractura de eje -Falla por desalineamiento severo -Trabamiento de impulsor -Falla de rodamiento	4. 1. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y temperatura para realizar detección de falla en rodamientos, condición del rodete y desalineamiento severo	1	1	0	0	2	3	1,00	3	2	6
			1-A-5	Falla por pérdida de eficiencia	4. Desgaste y rotura de alabe.	4. Realizar ruta de medición sintomatica de vibración para realizar detección de frecuencia paso alabe.	1	0	1	0	3	0	1,05	3	1	3,15
	B	Falla motor eléctrico MOTOR 86KW ABB	2-B-1	Falla rodamiento del motor	1. Falla rodamiento por desgaste, termino vida util, perdida ajuste o lubricación inadecuada exceso o deficit	1. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y de temperatura, ver estado rodamiento, verificar el estado del ventilador con lámpara estroboscópica	1	0	0	0	1	0	0,35	2	1	0,7
			2-B-2	Falla ventilación motor	2. Falla la ventilación por obstrucción de la ventilación, roce interno, presencia de polvo.	2. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y de temperatura, ver estado rodamiento, verificar el estado del ventilador con lámpara estroboscópica	1	0	0	0	1	0	0,35	1	1	0,35
			2-B-3	Falla de aislamiento	3. Falla del aislamiento por sobrecarga o alguna conexión suelta.	3. Realizar ruta de inspección preventiva electrocontrol para revisar la ventilación del motor, medición temperatura, ver soltura en el prensa cable, daño en el termocontraible que reduce el aislamiento, revisión de las puesta a tierra.	1	0	0	0	3	0	0,95	2	2	3,8
	C	TRANSMISIÓN	2-C-1	Falla acoplamiento	1. Falla acoplamiento -Falla inserto debido a desalineamiento severo -Falla por desgaste de eje -Falla por desplazamiento de machon	1. Realizar ruta de inspeccion sintomática de vibracion y de termografia, ver estado acoplamiento con estroboscópica.	1	1	0	0	1	0	0,55	4	2	4,4

Bomba P7_3

 PLANTA DE ÁCIDO Bombas Centrifugas TAG: BBA P7-3		ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA FMECA					CODELCO CHILE - DIVISION VENTANAS SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO											
							CLASIFICACIÓN DE SEVERIDAD					RPN			Valor			
							FO	SF	MA	IC	OR	OC	S	O	D	RPN		
FALLA FUNCIONA	cód	MODOS DE FALLA	ítem	DESCRIPCIÓN MODO DE FALLA	CAUSA DE FALLA	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO												
1. Posibles efectos contaminantes en la zona, problemas en el almacenamiento de ácido sulfúrico, interrupción proceso productivo.	A	Falla Sistema Bombeo. BOMBA CENTRIFUGA RHEINHUTTE	1-A-1	Falla los rodamientos de la bomba	1. Falla de rodamientos por término de vida útil -Falla por déficit de lubricación -Falla por contaminación del lubricante. -Falla por un desalineamiento severo	1. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y temperatura para realizar detección de falla en rodamientos, condición del rodete, anomalías en lubricación.	1	0	0	0	3	0	0,95	4	2			5,7
			1-A-2	Falla lubricación de la bomba	2. Falla lubricación de la bomba debido a contaminación del lubricante por problemas de sellado, -Desgaste de la camisa de empaque -Falla por déficit por no ejecución de la lubricación -Falla por frecuencia inadecuada de relubricación	2. Realizar ruta de lubricación para verificar nivel de aceite, filtraciones, estado del visor, estado de los vasos de rellenos automáticos y venteos de la bomba, Realizar cambio de aceite semanal de la bomba (conjunto rotatorio) producto de la contaminación con agua y lodo en caso que amerite.	0	0	0	0	2	0	0,60	2	1			1,2
			1-A-3	Falla por pérdida de sellado	3. Falla por pérdida de sellado -Falla rotura de caras de sello mecánico -Falla o-ring debido a desgaste o rotura	3. Realizar ruta de inspección preventiva mecánica para verificar el estado de carcasa, ruido en rodamientos en caso de no ser percibido por el inspector sintomático, fugas debido a la pérdida de sellado, verificar estado prensa estopa, niveles de aceite, válvulas de corte, filtraciones por cuellos rotos en ductos de aspiración y descarga de bomba.	1	0	1	0	3	0	1,05	3	2			4,725
			1-A-4	Rotura de eje	1. Falla fractura de eje -Falla por desalineamiento severo -Trabamiento de impulsor -Falla de rodamiento	4. 1. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y temperatura para realizar detección de falla en rodamientos, condición del rodete y desalineamiento severo	1	1	0	0	2	3	1,00	1	2			2
			1-A-5	Falla por pérdida de eficiencia	4. Desgaste y rotura de alabe.	4. Realizar ruta de medición sintomática de vibración para realizar detección de frecuencia paso alabe.	1	0	1	0	3	0	1,05	3	1			3,15
	B	Falla motor eléctrico MOTOR 86KW ABB	2-B-1	Falla rodamiento del motor	1. Falla rodamiento por desgaste, término vida útil, pérdida ajuste o lubricación inadecuada exceso o déficit	1. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y de temperatura, ver estado rodamiento, verificar el estado del ventilador con lámpara estroboscópica	1	0	0	0	1	0	0,35	2	1			0,7
			2-B-2	Falla ventilación motor	2. Falla la ventilación por obstrucción de la ventilación, roce interno, presencia de polvo.	2. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y de temperatura, ver estado rodamiento, verificar el estado del ventilador con lámpara estroboscópica	1	0	0	0	1	0	0,35	1	1			0,35
			2-B-3	Falla de aislamiento	3. Falla del aislamiento por sobrecarga o alguna conexión suelta.	3. Realizar ruta de inspección preventiva electrocontrol para revisar la ventilación del motor, medición temperatura, ver soldadura en el prensa cable, daño en el termocontraible que reduce el aislamiento, revisión de las puesta a tierra.	1	0	0	0	3	0	0,95	2	2			3,8
	C	TRANSMISIÓN	2-C-1	Falla acoplamiento	1. Falla acoplamiento -Falla inserto debido a desalineamiento severo -Falla por desgaste de eje -Falla por desplazamiento de machon	1. Realizar ruta de inspección sintomática de vibración y de termografía, ver estado acoplamiento con estroboscópica.	1	1	0	0	1	0	0,55	2	2			2,2

Bomba P5_1

		PLANTA DE ÁCIDO		ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA FMECA										CODELCO CHILE - DIVISION VENTANAS					
		Bombas Centrifugas												SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO					
TAG: BBA P5-1		CLASIFICACIÓN DE SEVERIDAD		RPN		Valor													
FALLA FUNCIONAL	cód	MODO DE FALLA	Ítem	DESCRIPCIÓN MODO DE FALLA	CAUSA DE FALLA	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	FO	SF	MA	IC	OR	OC	S	O	D	RPN			
1. Posible daño material, interrupción flujo de ácido a estanques de almacenamiento, pérdida de producción controlada.	A	Falla Sistema Bombeo. BOMBA CENTRIFUGA RHEINHUTTE	1-A-1	Falla los rodamientos de la bomba	1. Falla de rodamientos por terminó de vida útil -Falla por deficit de lubricación -Falla por contaminación del lubricante. -Falla por un desalineamiento severo	1. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y temperatura para realizar detección de falla en rodamientos, condición del rodete, anomalías en lubricación.	1	0	0	0	3	0	0,95	4	2	5,7			
			1-A-2	Falla lubricación de la bomba	2. Falla lubricación de la bomba debido a contaminación del lubricante por problemas de sellado, -Desgaste de la camisa de empaque -Falla por deficit por no ejecución de la lubricación -Falla por frecuencia inadecuada de relubricación	2. Realizar ruta de lubricación para verificar nivel de aceite, filtraciones, estado del visor, estado de los vasos de rellenos automáticos y venteos de la bomba, Realizar cambio de aceite semanal de la bomba (conjunto rotatorio) producto de la contaminación con agua y lodo en caso que amerite.	0	0	0	0	2	0	0,60	3	1	1,8			
			1-A-3	Falla por pérdida de sellado	3. Falla por pérdida de sellado -Falla rotura de caras de sello mecanico -Falla o-ring debido a desgaste o rotura	3. Realizar ruta de inspección preventiva mecánica para verificar el estado de carcasa, ruido en rodamientos en caso de no ser percibido por el inspector sintomático, fugas debido a la pérdida de sellado, verificar estado prensa estopa, niveles de aceite, válvulas de corte, filtraciones por cuellos rotos en ductos de aspiración y descarga de bomba.	1	0	1	0	3	0	1,05	3	1	3,15			
			1-A-4	Falla por pérdida de eficiencia	4. Desgaste y rotura de alabe.	4. Realizar ruta de medición sintomática de vibración para realizar detección de frecuencia paso alabe.	1	0	1	0	3	0	1,05	4	1	4,2			
	B	Falla motor eléctrico MOTOR 86KW ABB	2-B-1	Falla rodamiento del motor	1. Falla rodamiento por desgaste, término vida útil, pérdida ajuste o lubricación inadecuada exceso o deficit	1. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y de temperatura, ver estado rodamiento, verificar el estado del ventilador con lámpara estroboscópica	1	0	0	0	1	0	0,35	2	1	0,7			
			2-B-2	Falla ventilación motor	2. Falla la ventilación por obstrucción de la ventilación, roce interno, presencia de polvo.	2. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y de temperatura, ver estado rodamiento, verificar el estado del ventilador con lámpara estroboscópica	1	0	0	0	1	0	0,35	1	1	0,35			
			2-B-3	Falla de aislamiento	3. Falla del aislamiento por sobrecarga o alguna conexión suelta.	3. Realizar ruta de inspección preventiva electrocontrol para revisar la ventilación del motor, medición temperatura, ver soldadura en el prensa cable, daño en el termocontraible que reduce el aislamiento, revisión de las puesta a tierra.	1	0	0	0	3	0	0,95	2	2	3,8			
	C	TRANSMISIÓN	2-C-1	Falla acoplamiento	1. Falla acoplamiento -Falla inserto debido a desalineamiento severo -Falla por desgaste de eje -Falla por desplazamiento de machon	1. Realizar ruta de inspección sintomática de vibración y de termografía, ver estado acoplamiento con estroboscópica.	1	1	0	0	1	0	0,55	4	2	4,4			

Bomba P5_2

FALLA FUNCIONAL	cód	MODO DE FALLA	ítem	DESCRIPCION MODO DE FALLA	CAUSA DE FALLA	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	CODELCO CHILE - DIVISION VENTANAS SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO												
							CLASIFICACIÓN DE SEVERIDAD						RPN			Valor			
							FO	SF	MA	IC	OR	OC	S	O	D	RPN			
1. Posible daño material, interrupción flujo de ácido a estanques de almacenamiento, pérdida de producción controlada.	A	Falla Sistema Bombeo. BOMBA CENTRIFUGA RHEINHUTTE	1-A-1	Falla los rodamientos de la bomba	1. Falla de rodamientos por término de vida útil -Falla por déficit de lubricación -Falla por contaminación del lubricante. -Falla por un desalineamiento severo	1. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y temperatura para realizar detección de falla en rodamientos, condición del rodete, anomalías en lubricación.	1	0	0	0	3	0	0,95	4	2	5,7			
			1-A-2	Falla lubricación de la bomba	2. Falla lubricación de la bomba debido a contaminación del lubricante por problemas de sellado, -Desgaste de la camisa de empaque -Falla por déficit por no ejecución de la lubricación -Falla por frecuencia inadecuada de relubricación	2. Realizar ruta de lubricación para verificar nivel de aceite, filtraciones, estado del visor, estado de los vasos de rellenos automáticos y venteos de la bomba, Realizar cambio de aceite semanal de la bomba (conjunto rotatorio) producto de la contaminación con agua y lodo en caso que amerite.	0	0	0	0	2	0	0,60	3	1	1,8			
			1-A-3	Falla por pérdida de sellado	3. Falla por pérdida de sellado -Falla rotura de caras de sello mecanico -Falla o-ring debido a desgaste o rotura	3. Realizar ruta de inspección preventiva mecánica para verificar el estado de carcasa, ruido en rodamientos en caso de no ser percibido por el inspector sintomático, fugas debido a la pérdida de sellado, verificar estado prensa estopa, niveles de aceite, válvulas de corte, filtraciones por cuellos rotos en ductos de aspiración y descarga de bomba.	1	0	1	0	3	0	1,05	3	2	6,3			
			1-A-4	Falla por pérdida de eficiencia	4. Desgaste y rotura de alabe.	4. Realizar ruta de medición sintomática de vibración para realizar detección de frecuencia paso alabe.	1	0	1	0	3	0	1,05	4	1	4,2			
	B	Falla motor eléctrico MOTOR 86KW ABB	2-B-1	Falla rodamiento del motor	1. Falla rodamiento por desgaste, término vida útil, pérdida ajuste o lubricación inadecuada exceso o déficit	1. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y de temperatura, ver estado rodamiento, verificar el estado del ventilador con lámpara estroboscópica	1	0	0	0	1	0	0,35	2	1	0,7			
			2-B-2	Falla ventilación motor	2. Falla la ventilación por obstrucción de la ventilación, roce interno, presencia de polvo.	2. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y de temperatura, ver estado rodamiento, verificar el estado del ventilador con lámpara estroboscópica	1	0	0	0	1	0	0,35	1	1	0,35			
			2-B-3	Falla de aislamiento	3. Falla del aislamiento por sobrecarga o alguna conexión suelta.	3. Realizar ruta de inspección preventiva electrocontrol para revisar la ventilación del motor, medición temperatura, ver soldadura en el prensa cable, daño en el termocontraible que reduce el aislamiento, revisión de las puesta a tierra.	1	0	0	0	3	0	0,95	2	2	3,8			
	C	TRANSMISIÓN	2-C-1	Falla acoplamiento	1. Falla acoplamiento -Falla inserto debido a desalineamiento severo -Falla por desgaste de eje -Falla por desplazamiento de machon	1. Realizar ruta de inspección sintomática de vibración y de termografía, ver estado acoplamiento con estroboscópica.	1	1	0	0	1	0	0,55	2	2	2,2			

Bomba P70_1

 PLANTA DE ÁCIDO Bombas Centrifugas TAG: BBA P70-1		ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA FMECA					CODELCO CHILE - DIVISION VENTANAS SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO									
							CLASIFICACIÓN DE SEVERIDAD					RPN		Valor		
FALLA FUNCIONA	cód	MODO DE FALLA	ítem	DESCRIPCION MODO DE FALLA	CAUSA DE FALLA	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	FO	SF	MA	IC	OR	OC	S	O	D	RPN
1.Interrupción obtención ácido sulfúrico, posibles efectos contaminantes, pérdidas de producción.	A	Falla Sistema Bombeo. BOMBA CENTRIFUGA RHEINHUTTE	1-A-1	Falla los rodamientos de la bomba	1. Falla de rodamientos por terminó de vida útil -Falla por deficit de lubricación -Falla por contaminación del lubricante. -Falla por un desalineamiento	1. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y temperatura para realizar detección de falla en rodamientos, condición del rodete, anomalidades en lubricación.	1	0	0	0	3	0	0,95	4	2	5,7
			1-A-2	Falla lubricación de la bomba	2. Falla lubricación de la bomba debido a contaminación del lubricante por problemas de sellado, -Desgaste de la camisa de empaque -Falla por deficit por no ejecución de la lubricación -Falla por frecuencia inadecuada de relubricación	2. Realizar ruta de lubricación para verificar nivel de aceite, filtraciones, estado del visor, estado de los vasos de rellenos automáticos y venteos de la bomba, Realizar cambio de aceite semanal de la bomba (conjunto rotorio) producto de la contaminación con agua y lodo en caso que amerite.	1	0	0	0	3	0	0,95	4	2	5,7
			1-A-3	Falla por pérdida de sellado	3. Falla por pérdida de sellado -Falla rotura de caras de sello mecanico -Falla o-ring debido a desgaste o rotura	3. Realizar ruta de inspección preventiva mecánica para verificar el estado de carcasa, ruido en rodamientos en caso de no ser percibido por el inspector sintomático, fugas debido a la pérdida de sellado, verificar estado prensa estopa, niveles de aceite, válvulas de corte, filtraciones por cuellos rotos en ductos de aspiración y descarga de bomba.	1	0	1	0	3	0	1,05	3	2	6,3
				Rotura de eje	1. Falla fractura de eje -Falla por desalineamiento severo -Trabamiento de impulsor -Falla de rodamiento	4. 1. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y temperatura para realizar detección de falla en rodamientos, condición del rodete y desalineamiento severo	1	1	0	0	2	3	1,00	2	2	4
			1-A-4	Falla por pérdida de eficiencia	4. Desgaste y rotura de alabe.	4. Realizar ruta de medición sintomática de vibración para realizar detección de frecuencia paso alabe.	1	0	1	0	3	0	1,05	3	1	3,15
	B	Falla motor eléctrico MOTOR 86KW ABB	2-B-1	Falla rodamiento del motor	1. Falla rodamiento por desgaste, termino vida util, perdida ajuste o lubricación inadecuada exceso o deficit	1. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y de temperatura, ver estado rodamiento, verificar el estado del ventilador con lámpara estroboscópica	1	0	0	0	1	0	0,35	2	1	0,7
			2-B-2	Falla ventilación motor	2. Falla la ventilación por obstrucción de la ventilación, roce interno, presencia de polvo.	2. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y de temperatura, ver estado rodamiento, verificar el estado del ventilador con lámpara estroboscópica	1	0	0	0	1	0	0,35	1	1	0,35
			2-B-3	Falla de aislamiento	3. Falla del aislamiento por sobrecarga o alguna conexión suelta.	3. Realizar ruta de inspección preventiva electrocontrol para revisar la ventilación del motor, medición temperatura, ver soltura en el prensa cable, daño en el termocontraible que reduce el aislamiento , revisión de las puesta a tierra.	1	0	0	0	3	0	0,95	2	2	3,8
	C	TRANSMISIÓN	2-C-1	Falla acoplamiento	1. Falla acoplamiento -Falla inserto debido a desalineamiento severo -Falla por desgaste de eje -Falla por desplazamiento de machon	1. Realizar ruta de inspeccion sintomática de vibracion y de termografia, ver estado acoplamiento con estroboscópica.	1	1	0	0	1	0	0,55	4	2	4,4

Bomba P70_2

		PLANTA DE ÁCIDO		ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA FMECA						CODELCO CHILE - DIVISION VENTANAS						
		Bombas Centrifugas								SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO						
		TAG: BBA P70-2														CLASIFICACIÓN DE SEVERIDAD
FALLA FUNCIONA	cód	MODO DE FALLA	ítem	DESCRIPCION MODO DE FALLA	CAUSA DE FALLA	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	FO	SF	MA	IC	OR	OC	S	O	D	RPN
1. Interrupción obtención ácido sulfúrico, posibles efectos contaminantes, pérdidas de producción.	A	Falla Sistema Bombeo. BOMBA CENTRIFUGA RHEINHUTTE	1-A-1	Falla los rodamientos de la bomba	1. Falla de rodamientos por terminó de vida útil -Falla por deficit de lubricación -Falla por contaminación del lubricante. -Falla por un desalineamiento severo	1. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y temperatura para realizar detección de falla en rodamientos, condición del rodete, anomalidades en lubricación.	1	0	0	0	3	0	0,95	4	2	5,7
			1-A-2	Falla lubricación de la bomba	2. Falla lubricación de la bomba debido a contaminación del lubricante por problemas de sellado, -Desgaste de la camisa de empaque -Falla por deficit por no ejecución de la lubricación -Falla por frecuencia inadecuada de relubricación	2. Realizar ruta de lubricación para verificar nivel de aceite, filtraciones, estado del visor, estado de los vasos de rellenos automáticos y venteos de la bomba, Realizar cambio de aceite semanal de la bomba (conjunto rotorario) producto de la contaminación con agua y lodo en caso que amerite.	0	0	0	0	2	0	0,60	2	1	1,2
			1-A-3	Falla por pérdida de sellado	3. Falla por pérdida de sellado -Falla rotura de caras de sello mecanico -Falla o-ring debido a desgaste o rotura	3. Realizar ruta de inspección preventiva mecánica para verificar el estado de carcasa, ruido en rodamientos en caso de no ser percibido por el inspector sintomático, fugas debido a la pérdida de sellado, verificar estado prensa estopa, niveles de aceite, válvulas de corte, filtraciones por cuellos rotos en ductos de aspiración y descarga de bomba.	1	0	1	0	3	0	1,05	3	2	4,725
			1-A-4	Rotura de eje	1. Falla fractura de eje -Falla por desalineamiento severo -Trabamiento de impulsor -Falla de rodamiento	4. 1. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y temperatura para realizar detección de falla en rodamientos, condición del rodete y desalineamiento severo	1	1	0	0	2	3	1,00	1	2	2
			1-A-4	Falla por pérdida de eficiencia	4. Desgaste y rotura de alabe.	4. Realizar ruta de medición sintomática de vibración para realizar detección de frecuencia paso alabe.	1	0	1	0	3	0	1,05	3	1	3,15
	B	Falla motor eléctrico MOTOR 86KW ABB	2-B-1	Falla rodamiento del motor	1. Falla rodamiento por desgaste, termino vida util, perdida ajuste o lubricación inadecuada exceso o deficit	1. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y de temperatura, ver estado rodamiento, verificar el estado del ventilador con lámpara estroboscópica	1	0	0	0	1	0	0,35	2	1	0,7
			2-B-2	Falla ventilación motor	2. Falla la ventilación por obstrucción de la ventilación, roce interno, presencia de polvo.	2. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y de temperatura, ver estado rodamiento, verificar el estado del ventilador con lámpara estroboscópica	1	0	0	0	1	0	0,35	1	1	0,35
			2-B-3	Falla de aislamiento	3. Falla del aislamiento por sobrecarga o alguna conexión suelta.	3. Realizar ruta de inspección preventiva electrocontrol para revisar la ventilación del motor, medición temperatura, ver soltura en el prensa cable, daño en el termocontraible que reduce el aislamiento, revisión de las puesta a tierra.	1	0	0	0	3	0	0,95	2	2	3,8
	C	TRANSMISIÓN	2-C-1	Falla acoplamiento	1. Falla acoplamiento -Falla inserto debido a desalineamiento severo -Falla por desgaste de eje -Falla por desplazamiento de machon	1. Realizar ruta de inspeccion sintomática de vibracion y de termografia, ver estado acoplamiento con estroboscópica.	1	1	0	0	1	0	0,55	2	2	2,2

Bomba P70_3

 PLANTA DE ÁCIDO Bombas Centrifugas TAG: BBA P70-3		ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA FMECA					CODELCO CHILE - DIVISION VENTANAS SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO												
												CLASIFICACIÓN DE SEVERIDAD					RPN		Valor
												FO	SF	MA	IC	OR	OC	S	O
FALLA FUNCIONA	cód	MODO DE FALLA	Ítem	DESCRIPCION MODO DE FALLA	CAUSA DE FALLA	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO													
1. Interrupción obtención ácido sulfúrico, posibles efectos contaminantes, pérdidas de producción.	A	Falla Sistema Bombeo. BOMBA CENTRIFUGA RHEINHUTTE	1-A-1	Falla los rodamientos de la bomba	1. Falla de rodamientos por terminó de vida útil -Falla por deficit de lubricación -Falla por contaminación del lubricante. -Falla por un desalineamiento severo	1. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y temperatura para realizar detección de falla en rodamientos, condición del rodete, anomalías en lubricación.	1	0	0	0	3	0	0,95	3	2	4,275			
			1-A-2	Falla lubricación de la bomba	2. Falla lubricación de la bomba debido a contaminación del lubricante por problemas de sellado, -Desgaste de la camisa de empaque -Falla por deficit por no ejecución de la lubricación -Falla por frecuencia inadecuada de relubricación	2. Realizar ruta de lubricación para verificar nivel de aceite, filtraciones, estado del visor, estado de los vasos de rellenos automáticos y venteos de la bomba, Realizar cambio de aceite semanal de la bomba (conjunto rotorario) producto de la contaminación con agua y lodo en caso que amerite.	0	0	0	0	2	0	0,60	2	1	1,2			
			1-A-3	Falla por pérdida de sellado	3. Falla por pérdida de sellado -Falla rotura de caras de sello mecanico -Falla o-ring debido a desgaste o rotura	3. Realizar ruta de inspección preventiva mecánica para verificar el estado de carcasa, ruido en rodamientos en caso de no ser percibido por el inspector sintomático, fugas debido a la pérdida de sellado, verificar estado prensa estopa, niveles de aceite, válvulas de corte, filtraciones por cuellos rotos en ductos de aspiración y descarga de bomba.	1	0	1	0	3	0	1,05	2	1	2,1			
				Rotura de eje	1. Falla fractura de eje -Falla por desalineamiento severo -Trabamiento de impulsor -Falla de rodamiento	4. 1. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y temperatura para realizar detección de falla en rodamientos, condición del rodete y desalineamiento severo	1	1	0	0	2	3	1,00	2	2	4			
			1-A-4	Falla por pérdida de eficiencia	4. Desgaste y rotura de alabe.	4. Realizar ruta de medición sintomática de vibración para realizar detección de frecuencia paso alabe.	1	0	1	0	3	0	1,05	3	1	3,15			
	B	Falla motor eléctrico MOTOR 86KW ABB	2-B-1	Falla rodamiento del motor	1. Falla rodamiento por desgaste, termino vida util, perdida ajuste o lubricación inadecuada exceso o deficit	1. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y de temperatura, ver estado rodamiento, verificar el estado del ventilador con lámpara estroboscópica	1	0	0	0	1	0	0,35	2	1	0,7			
			2-B-2	Falla ventilación motor	2. Falla la ventilación por obstrucción de la ventilación, roce interno, presencia de polvo.	2. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y de temperatura, ver estado rodamiento, verificar el estado del ventilador con lámpara estroboscópica	1	0	0	0	1	0	0,35	1	1	0,35			
			2-B-3	Falla de aislamiento	3. Falla del aislamiento por sobrecarga o alguna conexión suelta.	3. Realizar ruta de inspección preventiva electrocontrol para revisar la ventilación del motor, medición temperatura, ver soldadura en el prensa cable, daño en el termocontraible que reduce el aislamiento, revisión de las puesta a tierra.	1	0	0	0	3	0	0,95	2	2	3,8			
	C	TRANSMISIÓN	2-C-1	Falla acoplamiento	1. Falla acoplamiento -Falla inserto debido a desalineamiento severo -Falla por desgaste de eje -Falla por desplazamiento de machon	1. Realizar ruta de inspeccion sintomática de vibracion y de termografia, ver estado acoplamiento con estroboscópica.	1	1	0	0	1	0	0,55	2	2	2,2			

Bomba P6_1

FALLA FUNCIONA	PLANTA DE ÁCIDO		ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA FMECA				CODELCO CHILE - DIVISION VENTANAS									
	Bombas Centrifugas						SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO									
	TAG: BBA P6-1						CLASIFICACIÓN DE SEVERIDAD			RPN		Valor				
cód	MODO DE FALLA	ítem	DESCRIPCION MODO DE FALLA	CAUSA DE FALLA	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	FO	SF	MA	IC	OR	OC	S	O	D	RPN	
1. Interrupción proceso secado de gases, pérdida controlada de producción, posibles daños a la comunidad.	A	Falla Sistema Bombeo. BOMBA CENTRIFUGA RHEINHUTTE	1-A-1	Falla los rodamientos de la bomba	1. Falla de rodamientos por terminó de vida útil -Falla por deficit de lubricación -Falla por contaminación del lubricante. -Falla por un desalineamiento severo	1. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y temperatura para realizar detección de falla en rodamientos, condición del rodete, anomalías en lubricación.	1	0	0	0	3	0	0,95	4	2	5,7
			1-A-2	Falla lubricación de la bomba	2. Falla lubricación de la bomba debido a contaminación del lubricante por problemas de sellado, -Desgaste de la camisa de empaque -Falla por deficit por no ejecución de la lubricación -Falla por frecuencia inadecuada de relubricación	2. Realizar ruta de lubricación para verificar nivel de aceite, filtraciones, estado del visor, estado de los vasos de rellenos automáticos y venteos de la bomba, Realizar cambio de aceite semanal de la bomba (conjunto rotorio) producto de la contaminación con agua y lodo en caso que amerite.	0	0	0	0	2	0	0,60	3	1	1,8
			1-A-3	Falla por pérdida de sellado	3. Falla por pérdida de sellado -Falla rotura de caras de sello mecanico -Falla o-ring debido a desgaste o rotura	3. Realizar ruta de inspección preventiva mecánica para verificar el estado de carcasa, ruido en rodamientos en caso de no ser percibido por el inspector sintomático, fugas debido a la pérdida de sellado, verificar estado prensa estopa, niveles de aceite, válvulas de corte, filtraciones por cuellos rotos en ductos de aspiración y descarga de bomba.	1	0	1	0	3	0	1,05	4	1	4,2
			1-A-4	Falla por pérdida de eficiencia	4. Desgaste y rotura de alabe.	4. Realizar ruta de medición sintomática de vibración para realizar detección de frecuencia paso alabe.	1	0	1	0	3	0	1,05	3	1	3,15
	B	Falla motor eléctrico MOTOR 86KW ABB	2-B-1	Falla rodamiento del motor	1. Falla rodamiento por desgaste, termino vida util, perdida ajuste o lubricación inadecuada exceso o deficit	1. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y de temperatura, ver estado rodamiento, verificar el estado del ventilador con lámpara estroboscópica	1	0	0	0	1	0	0,35	2	1	0,7
			2-B-2	Falla ventilación motor	2. Falla la ventilación por obstrucción de la ventilación, roce interno, presencia de polvo.	2. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y de temperatura, ver estado rodamiento, verificar el estado del ventilador con lámpara estroboscópica	1	0	0	0	1	0	0,35	1	1	0,35
			2-B-3	Falla de aislamiento	3. Falla del aislamiento por sobrecarga o alguna conexión suelta.	3. Realizar ruta de inspección preventiva electrocontrol para revisar la ventilación del motor, medición temperatura, ver soldadura en el prensa cable, daño en el termocontraible que reduce el aislamiento, revisión de las puesta a tierra.	1	0	0	0	3	0	0,95	2	2	3,8
C	TRANSMISIÓN	2-C-1	Falla acoplamiento	1. Falla acoplamiento -Falla inserto debido a desalineamiento severo -Falla por desgaste de eje -Falla por desplazamiento de machon	1. Realizar ruta de inspección sintomática de vibración y de termografía, ver estado acoplamiento con estroboscópica.	1	1	0	0	1	0	0,55	4	2	4,4	

Bomba P6_2

FALLA FUNCIONAL	PLANTA DE ÁCIDO		ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA FMECA				CODELCO CHILE - DIVISION VENTANAS							SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO					
	cód	MODO DE FALLA					ítem	DESCRIPCION MODO DE FALLA	CAUSA DE FALLA	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	CLASIFICACIÓN DE SEVERIDAD						RPN		
											FO	SF	MA	IC	OR	OC	S	O	D
1. Interrupción proceso secado de gases, pérdida controlada de producción, posibles daños a la comunidad.	A	Falla Sistema Bombeo. BOMBA CENTRIFUGA RHEINHUTTE	1-A-1	Falla los rodamientos de la bomba	1. Falla de rodamientos por término de vida útil -Falla por déficit de lubricación -Falla por contaminación del lubricante. -Falla por un desalineamiento severo	1. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y temperatura para realizar detección de falla en rodamientos, condición del rodete, anomalías en lubricación.	1	0	0	0	3	0	0,95	3	2	4,275			
			1-A-2	Falla lubricación de la bomba	2. Falla lubricación de la bomba debido a contaminación del lubricante por problemas de sellado, -Desgaste de la camisa de empaque -Falla por déficit por no ejecución de la lubricación -Falla por frecuencia inadecuada de relubricación	2. Realizar ruta de lubricación para verificar nivel de aceite, filtraciones, estado del visor, estado de los vasos de rellenos automáticos y venteos de la bomba, Realizar cambio de aceite semanal de la bomba (conjunto rotatorio) producto de la contaminación con agua y lodo en caso que amerite.	0	0	0	0	2	0	0,60	3	1	1,8			
			1-A-3	Falla por pérdida de sellado	3. Falla por pérdida de sellado -Falla rotura de caras de sello mecanico -Falla o-ring debido a desgaste o rotura	3. Realizar ruta de inspección preventiva mecánica para verificar el estado de carcasa, ruido en rodamientos en caso de no ser percibido por el inspector sintomático, fugas debido a la pérdida de sellado, verificar estado prensa estopa, niveles de aceite, válvulas de corte, filtraciones por cuellos rotos en ductos de aspiración y descarga de bomba.	1	0	1	0	3	0	1,05	4	1	4,2			
			1-A-4	Falla por pérdida de eficiencia	4. Desgaste y rotura de alabe.	4. Realizar ruta de medición sintomática de vibración para realizar detección de frecuencia paso alabe.	1	0	1	0	3	0	1,05	4	1	4,2			
	B	Falla motor eléctrico MOTOR 86KW ABB	2-B-1	Falla rodamiento del motor	1. Falla rodamiento por desgaste, término vida útil, pérdida ajuste o lubricación inadecuada exceso o déficit	1. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y de temperatura, ver estado rodamiento, verificar el estado del ventilador con lámpara estroboscópica	1	0	0	0	1	0	0,35	2	1	0,7			
			2-B-2	Falla ventilación motor	2. Falla la ventilación por obstrucción de la ventilación, roce interno, presencia de polvo.	2. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y de temperatura, ver estado rodamiento, verificar el estado del ventilador con lámpara estroboscópica	1	0	0	0	1	0	0,35	1	1	0,35			
			2-B-3	Falla de aislamiento	3. Falla del aislamiento por sobrecarga o alguna conexión suelta.	3. Realizar ruta de inspección preventiva electrocontrol para revisar la ventilación del motor, medición temperatura, ver soldadura en el prensa cable, daño en el termocontraible que reduce el aislamiento, revisión de las puesta a tierra.	1	0	0	0	3	0	0,95	3	2	5,7			
	C	TRANSMISIÓN	2-C-1	Falla acoplamiento	1. Falla acoplamiento -Falla inserto debido a desalineamiento severo -Falla por desgaste de eje -Falla por desplazamiento de machon	1. Realizar ruta de inspección sintomática de vibración y de termografía, ver estado acoplamiento con estroboscópica.	1	1	0	0	1	0	0,55	4	2	4,4			

Ventilador V5_1

FALLA FUNCIONAL	PLANTA DE ÁCIDO		ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA FMECA				CODELCO CHILE - DIVISION VENTANAS SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO									
	TAG: VEN V5-1						CLASIFICACIÓN DE SEVERIDAD				RPN		Valor			
	cód	MODO DE FALLA	ítem	DESCRIPCIÓN MODO DE FALLA	CAUSA DE FALLA	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	FO	SF	MA	IC	OR	OC	S	O	D	RPN
1. Detiene el proceso de transferencia de calor de torre W11/1-2	A	Falla VENTILADOR CENTRIFUGO	1-A-1	Falla los rodamientos	1. Falla de rodamientos por término de vida útil -Falla por déficit de lubricación -Falla por contaminación del lubricante. -Falla por un desalineamiento severo	1. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y temperatura para realizar detección de falla en rodamientos, condición del rodete, anomalías en lubricación.	1	1	1	0	3	0	1,3	3	1	3,75
			1-A-2	Falla lubricación	2. Falla lubricación soportes de ventilador debido a contaminación por efecto del medio ambiente -Falla por déficit por no ejecución de la lubricación -Falla por frecuencia inadecuada de relubricación	2. Realizar ruta de lubricación para cambiar o rellenar vasos de rellenos automáticos.	1	0	0	0	2	0	0,7	3	1	1,95
			1-A-3	Perdida de eficiencia y vibración excesiva	3. Falla por contaminación y/o desgaste de rodete, Soltura mecánica por fijación de rodete	3. Realizar ruta de inspección preventiva mecánica para verificar el estado de rodete, realizar balanceo dinámico de acuerdo a monitoreo condición. Realizar limpieza con ácido del rodete cada 6 meses	1	0	0	0	3	0	1,0	2	1	1,9
			1-A-4	Falla estructural base metálica	4. Exceso de vibración y contaminación atmosférica produciendo fisuras.	4. Realizar ruta de vibración para verificar estado estructural de la base metálica y soldaduras mecánicas.	1	0	0	0	2	0	0,7	3	2	3,9
	B	Falla motor eléctrico MOTOR ABB	2-B-1	Falla rodamiento del motor	1. Falla rodamiento por desgaste, término vida útil, pérdida ajuste o lubricación inadecuada exceso o déficit	1. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y de temperatura, ver estado rodamiento, verificar el estado del ventilador con lámpara estroboscópica	2	0	0	0	2	0	0,7	4	2	5,6
			2-B-2	Falla ventilación motor	2. Falla la ventilación por obstrucción de la ventilación, roce interno, presencia de polvo.	2. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y de temperatura, ver estado rodamiento, verificar el estado del ventilador con lámpara estroboscópica	1	0	0	0	2	0	0,7	2	1	1,3
			2-B-3	Falla de aislamiento	3. Falla del aislamiento por sobrecarga o alguna conexión suelta.	3. Realizar ruta de inspección preventiva electrocontrol para revisar la ventilación del motor, medición temperatura, ver soldadura en el prensa cable, daño en el termocontraible que reduce el aislamiento, revisión de las puestas a tierra.	1	1	2	1	2	3	1,5	3	1	4,5
	C	Transmisión	2-C-1	Falla acoplamiento	1. Falla acoplamiento -Falla inserto debido a desalineamiento severo -Falla por desgaste de eje -Falla por desplazamiento de machón	1. Realizar ruta de inspección sintomática de vibración y de termografía, ver estado acoplamiento con estroboscópica.	1	1	2	1	2	3	1,5	4	1	6
	D	Reductor de velocidad FALK	3-D-1	Falla los rodamientos	1. Falla de rodamientos por término de vida útil -Falla por déficit de lubricación -Falla por contaminación del lubricante.	1. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y temperatura para realizar detección de falla en rodamientos y anomalías en lubricación.	2	1	2	0	2	0	1,1	3	2	6,6
			3-D-2	Falla lubricación	2. Falla por déficit por no ejecución de la lubricación -Falla por frecuencia inadecuada de relubricación - Desgaste empaquetaduras y retenes. -Filtraciones debido a estado gaseoso, sobrecalentamiento -Pérdida de propiedades mecánicas de lubricante - Contaminación del lubricante	2. Realizar ruta de lubricación para verificar nivel de aceite, filtraciones, estado del visor, estado de los vasos de rellenos automáticos y ventoseos del reductor. Realizar cambio de aceite semanal del reductor (conjunto rotorio) producto de la contaminación con agua.	1	0	0	0	3	0	1,0	3	2	5,7
			3-D-3	Vibración excesiva	3. -Rotura de dentadura engranes -Soltura de rodamientos ejes	3. Realizar ruta de medición sintomática de vibración para realizar detección de frecuencia de engranes y detectar soldaduras mecánicas.	1	1	1	0	4	0	1,6	2	1	3,1

Ventilador V5_2

FALLA FUNCIONAL	PLANTA DE ÁCIDO		ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA FMECA										CODELCO CHILE - DIVISION VENTANAS SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO					
	cód	MODO DE FALLA	Ítem	DESCRIPCIÓN MODO DE FALLA	CAUSA DE FALLA	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	CLASIFICACIÓN DE SEVERIDAD						RPN			Valor		
							FO	SF	MA	IC	OR	OC	S	O	D	RPN		
1. Detiene el proceso de transferencia de calor de torre W11/1-2	A	Falla extracción de gases VENTILADOR CENTRIFUGO	1-A-1	Falla los rodamientos	1. Falla de rodamientos por terminó de vida útil -Falla por deficit de lubricación -Falla por contaminación del lubricante. -Falla por un desalineamiento severo	1. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y temperatura para realizar detección de falla en rodamientos, condición del rodete, anomalías en lubricación.	1	1	1	0	3	0	1,3	2	1	2,5		
			1-A-2	Falla lubricación	2. Falla lubricación soportes de ventilador debido a contaminación por efecto del medio ambiente -Falla por deficit por no ejecución de la lubricación -Falla por frecuencia inadecuada de relubricación	2. Realizar ruta de lubricación para cambiar o rellenar vasos de rellenos automáticos.	1	0	0	0	2	0	0,7	3	1	1,95		
			1-A-3	Perdida de eficiencia y vibración excesiva	3. Falla por contaminación y/o desgaste de rodete, Soltura mecanica pernos fijacion de rodete	3. Realizar ruta de inspección preventiva mecánica para verificar el estado de rodete, realizar balanceo dinamico de acuerdo a monitoreo condición. Realizar limpieza con acido del rodete cada 6 meses	1	0	0	0	3	0	1,0	2	1	1,9		
			1-A-4	Falla estructural base metalica	4. Exceso de vibración y contaminación admosferica produciendo fisuras.	4. Realizar ruta de vibración para verificar estado estructural de la base metalica y soldaduras mecanicas.	1	0	0	0	2	0	0,7	3	2	3,9		
	B	Falla motor eléctrico MOTOR ABB	2-B-1	Falla rodamiento del motor	1. Falla rodamiento por desgaste, termino vida util, perdida ajuste o lubricación inadecuada exceso o deficit	1. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y de temperatura, ver estado rodamiento, verificar el estado del ventilador con lámpara estroboscópica	2	0	0	0	2	0	0,7	2	2	2,8		
			2-B-2	Falla ventilación motor	2. Falla la ventilación por obstrucción de la ventilación, roce interno, presencia de polvo.	2. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y de temperatura, ver estado rodamiento, verificar el estado del ventilador con lámpara estroboscópica	1	0	0	0	2	0	0,7	2	1	1,3		
			2-B-3	Falla de aislamiento	3. Falla del aislamiento por sobrecarga o alguna conexión suelta.	3. Realizar ruta de inspección preventiva electrocontrol para revisar la ventilación del motor, medición temperatura, ver soldadura en el prensa cable, daño en el termocontraible que reduce el aislamiento, revisión de las puesta a tierra.	1	1	2	1	2	3	1,5	3	1	4,5		
	C	Transmisión	2-C-1	Falla acoplamiento	1. Falla acoplamiento -Falla inserto debido a desalineamiento severo -Falla por desgaste de eje -Falla por desplazamiento de machon	1. Realizar ruta de inspección sintomática de vibración y de termografía, ver estado acoplamiento con estroboscópica.	1	1	2	1	2	3	1,5	3	1	4,5		
	D	Reductor de velocidad FALK	3-D-1	Falla los rodamientos	1. Falla de rodamientos por terminó de vida útil -Falla por deficit de lubricación -Falla por contaminación del lubricante.	1. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y temperatura para realizar detección de falla en rodamientos y anomalías en lubricación.	2	1	2	0	2	0	1,1	3	2	6,6		
			3-D-2	Falla lubricación	2. Falla por deficit por no ejecución de la lubricación -Falla por frecuencia inadecuada de relubricación - Desgaste empaquetaduras y retenes. -Filtraciones debido a estado gaseoso, sobrecalentamiento -Pérdida de propiedades mecánicas de lubricante - Contaminación del lubricante	2. Realizar ruta de lubricación para verificar nivel de aceite, filtraciones, estado del visor, estado de los vasos de rellenos automáticos y venteos del reductor. Realizar cambio de aceite semanal del reductor(conjunto rotatorio) producto de la contaminación con agua.	1	0	0	0	3	0	1,0	3	2	5,7		
			3-D-3	Vibración excesiva	3. -Rotura de dentadura engranes -Soltura de rodamientos ejes	3. Realizar ruta de medición sintomática de vibración para realizar detección de frecuencia de engranes y detectar soldaduras mecanicas.	1	1	1	0	4	0	1,6	2	1	3,1		

Ventilador VTI

FALLA FUNCIONAL	PLANTA DE ÁCIDO		ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA FMECA				CODELCO CHILE - DIVISION VENTANAS SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO												
	cód	MODO DE FALLA					ítem	DESCRIPCION MODO DE FALLA	CAUSA DE FALLA	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	CLASIFICACIÓN DE SEVERIDAD						RPN		Valor
											FO	SF	MA	IC	OR	OC	S	O	D
1. No puede capturar gases proveniente de los convertidores teniente y pierce smith y conducirlo a los precipitadores	A	Falla extracción de gases VENTILADOR CENTRIFUGO	1-A-1	Falla los rodamientos	1. Falla de rodamientos por terminó de vida útil -Falla por deficit de lubricación -Falla por contaminación del lubricante. -Falla por un desalineamiento severo	1. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y temperatura para realizar detección de falla en rodamientos, condición del rodete, anomalías en lubricación.	1	1	1	0	3	0	1,3	3	1	3,75			
			1-A-2	Falla lubricación	2. Falla lubricación soportes de ventilador debido a contaminación por efecto del medio ambiente -Falla por deficit por no ejecución de la lubricación -Falla por frecuencia inadecuada de relubricación	2. Realizar ruta de lubricación para cambiar o rellenar vasos de rellenos automáticos.	1	0	0	0	2	0	0,7	3	1	1,95			
			1-A-3	Perdida de eficiencia y vibración excesiva	3. Falla por contaminación y/o desgaste de rodete, Soltura mecanica pernos fijacion de rodete	3. Realizar ruta de inspección preventiva mecánica para verificar el estado de rodete, realizar balanceo dinamico de acuerdo a monitoreo condición. Realizar limpieza con acido del rodete cada 6 meses	1	1	1	0	3	3	1,4	3	2	8,4			
			1-A-4	Falla estructural base metalica	4. Exceso de vibración y contaminación admosferica produciendo fisuras.	4. Realizar ruta de vibración para verificar estado estructural de la base metalica y soldaduras mecanicas.	1	1	1	0	3	3	1,4	3	2	8,4			
	B	Falla motor eléctrico MOTOR 150 HP ABB	2-B-1	Falla rodamiento del motor	1. Falla rodamiento por desgaste, termino vida util, perdida ajuste o lubricación inadecuada exceso o deficit	1. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y de temperatura, ver estado rodamiento, verificar el estado del ventilador con lámpara estroboscópica	2	0	0	0	2	0	0,7	3	2	4,2			
			2-B-2	Falla ventilación motor	2. Falla la ventilación por obstrucción de la ventilación, roce interno, presencia de polvo.	2. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y de temperatura, ver estado rodamiento, verificar el estado del ventilador con lámpara estroboscópica	1	0	0	0	2	0	0,7	3	1	1,95			
			2-B-3	Falla de aislamiento	3. Falla del aislamiento por sobrecarga o alguna conexión suelta.	3. Realizar ruta de inspección preventiva electrocontrol para revisar la ventilación del motor, medición temperatura, ver soldadura en el prensa cable, daño en el termocontraible que reduce el aislamiento , revisión de las puesta a tierra.	2	1	0	0	2	0	0,9	3	1	2,7			
	C	Transmisión	2-C-1	Falla acoplamiento	1. Falla acoplamiento -Falla inserto debido a desalineamiento severo -Falla por desgaste de eje -Falla por desplazamiento de machon	1. Realizar ruta de inspección sintomática de vibración y de termografía, ver estado acoplamiento con estroboscópica.	1	1	0	0	2	0	0,9	3	2	5,1			

Ventilador V25_1

FALLA FUNCIONAL	PLANTA DE ÁCIDO		ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA FMECA				CODELCO CHILE - DIVISION VENTANAS SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO									
	cód	MODO DE FALLA					ítem	DESCRIPCIÓN MODO DE FALLA	CAUSA DE FALLA	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	CLASIFICACIÓN DE SEVERIDAD					RPN
							FO	SF	MA	IC	OR	OC	S	O	D	RPN
1. Detiene el proceso de transferencia de calor de torre W25/1-2	A	Falla VENTILADOR CENTRIFUGO	1-A-1	Falla los rodamientos	1. Falla de rodamientos por término de vida útil -Falla por déficit de lubricación -Falla por contaminación del lubricante. -Falla por un desalineamiento severo	1. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y temperatura para realizar detección de falla en rodamientos, condición del rodete, anomalías en lubricación.	1	1	1	0	3	0	1,3	2	1	2,5
			1-A-2	Falla lubricación	2. Falla lubricación soportes de ventilador debido a contaminación por efecto del medio ambiente -Falla por déficit por no ejecución de la lubricación -Falla por frecuencia inadecuada de relubricación	2. Realizar ruta de lubricación para cambiar o rellenar vasos de rellenos automáticos.	1	0	0	0	2	0	0,7	2	1	1,3
			1-A-3	Perdida de eficiencia y vibración excesiva	3. Falla por contaminación y/o desgaste de rodete, Soltura mecánica pernos fijación de rodete	3. Realizar ruta de inspección preventiva mecánica para verificar el estado de rodete, realizar balanceo dinámico de acuerdo a monitoreo condición. Realizar limpieza con ácido del rodete cada 6 meses	1	0	0	0	3	0	1,0	2	1	1,9
			1-A-4	Falla estructural base metálica	4. Exceso de vibración y contaminación atmosférica produciendo fisuras.	4. Realizar ruta de vibración para verificar estado estructural de la base metálica y soldaduras mecánicas.	1	0	0	0	2	0	0,7	2	2	2,6
	B	Falla motor eléctrico MOTOR ABB	2-B-1	Falla rodamiento del motor	1. Falla rodamiento por desgaste, término vida útil, pérdida ajuste o lubricación inadecuada exceso o déficit	1. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y de temperatura, ver estado rodamiento, verificar el estado del ventilador con lámpara estroboscópica	2	0	0	0	2	0	0,7	2	2	2,8
			2-B-2	Falla ventilación motor	2. Falla la ventilación por obstrucción de la ventilación, roce interno, presencia de polvo.	2. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y de temperatura, ver estado rodamiento, verificar el estado del ventilador con lámpara estroboscópica	1	0	0	0	2	0	0,7	2	1	1,3
			2-B-3	Falla de aislamiento	3. Falla del aislamiento por sobrecarga o alguna conexión suelta.	3. Realizar ruta de inspección preventiva electrocontrol para revisar la ventilación del motor, medición temperatura, ver soldadura en el prensa cable, daño en el termocontraible que reduce el aislamiento, revisión de las puesta a tierra.	1	1	2	1	2	3	1,5	3	1	4,5
	C	Transmisión	2-C-1	Falla acoplamiento	1. Falla acoplamiento -Falla inserto debido a desalineamiento severo -Falla por desgaste de eje -Falla por desplazamiento de machon	1. Realizar ruta de inspección sintomática de vibración y de termografía, ver estado acoplamiento con estroboscópica.	1	1	2	1	2	3	1,5	4	1	6
	D	Reductor de velocidad FALK	3-D-1	Falla los rodamientos	1. Falla de rodamientos por término de vida útil -Falla por déficit de lubricación -Falla por contaminación del lubricante.	1. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y temperatura para realizar detección de falla en rodamientos y anomalías en lubricación.	2	1	2	0	2	0	1,1	2	2	4,4
			3-D-2	Falla lubricación	2. Falla por déficit por no ejecución de la lubricación -Falla por frecuencia inadecuada de relubricación - Desgaste empaquetaduras y retenes. -Filtraciones debido a estado gaseoso, sobrecalentamiento -Pérdida de propiedades mecánicas de lubricante - Contaminación del lubricante	2. Realizar ruta de lubricación para verificar nivel de aceite, filtraciones, estado del visor, estado de los vasos de rellenos automáticos y ventosos del reductor. Realizar cambio de aceite semanal del reductor(conjunto rotorario) producto de la contaminación con agua.	1	0	0	0	3	0	1,0	2	2	3,8
			3-D-3	Vibración excesiva	3. -Rotura de dentadura engranes -Soltura de rodamientos ejes	3. Realizar ruta de medición sintomática de vibración para realizar detección de frecuencia de engranes y detectar soldaduras mecánicas.	1	1	1	0	4	0	1,6	2	1	3,1

Ventilador V25_2

		PLANTA DE ÁCIDO		ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA FMECA						CODELCO CHILE - DIVISION VENTANAS SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO						
		TAG: VEN V25-2								CLASIFICACIÓN DE SEVERIDAD			RPN			Valor
FALLA FUNCIONAL	cód	MODO DE FALLA	Ítem	DESCRIPCIÓN MODO DE FALLA	CAUSA DE FALLA	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	FO	SF	MA	IC	OR	OC	S	O	D	RPN
1. Detiene el proceso de transferencia de calor de torre W25/1-2	A	Falla VENTILADOR CENTRIFUGO	1-A-1	Falla los rodamientos	1. Falla de rodamientos por término de vida útil -Falla por déficit de lubricación -Falla por contaminación del lubricante. -Falla por un desalineamiento severo	1. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y temperatura para realizar detección de falla en rodamientos, condición del rodete, a normalidades en lubricación.	1	1	1	0	3	0	1,3	2	1	2,5
			1-A-2	Falla lubricación	2. Falla lubricación soportes de ventilador debido a contaminación por efecto del medio ambiente -Falla por déficit por no ejecución de la lubricación -Falla por frecuencia inadecuada de relubricación	2. Realizar ruta de lubricación para cambiar o rellenar vasos de rellenos automáticos.	1	0	0	0	2	0	0,7	2	1	1,3
			1-A-3	Perdida de eficiencia y vibración excesiva	3. Falla por contaminación y/o desgaste de rodete, Soltura mecánica pernos fijación de rodete	3. Realizar ruta de inspección preventiva mecánica para verificar el estado de rodete, realizar balanceo dinámico de acuerdo a monitoreo condición. Realizar limpieza con ácido del rodete cada 6 meses	1	0	0	0	3	0	1,0	2	1	1,9
			1-A-4	Falla estructural base metálica	4. Exceso de vibración y contaminación atmosférica produciendo fisuras.	4. Realizar ruta de vibración para verificar estado estructural de la base metálica y soldaduras mecánicas.	1	0	0	0	2	0	0,7	2	2	2,6
	B	Falla motor eléctrico MOTOR ABB	2-B-1	Falla rodamiento del motor	1. Falla rodamiento por desgaste, término vida útil, pérdida ajuste o lubricación inadecuada exceso o déficit	1. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y de temperatura, ver estado rodamiento, verificar el estado del ventilador con lámpara estroboscópica	2	0	0	0	2	0	0,7	2	2	2,8
			2-B-2	Falla ventilación motor	2. Falla la ventilación por obstrucción de la ventilación, roce interno, presencia de polvo.	2. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y de temperatura, ver estado rodamiento, verificar el estado del ventilador con lámpara estroboscópica	1	0	0	0	2	0	0,7	2	1	1,3
			2-B-3	Falla de aislamiento	3. Falla del aislamiento por sobrecarga o alguna conexión suelta.	3. Realizar ruta de inspección preventiva electrocontrol para revisar la ventilación del motor, medición temperatura, ver soldadura en el prensa cable, daño en el termocontraible que reduce el aislamiento, revisión de las puesta a tierra.	1	1	2	1	2	3	1,5	3	1	4,5
	C	Transmisión	2-C-1	Falla acoplamiento	1. Falla acoplamiento -Falla inserto debido a desalineamiento severo -Falla por desgaste de eje -Falla por desplazamiento de machon	1. Realizar ruta de inspección sintomática de vibración y de termografía, ver estado acoplamiento con estroboscópica.	1	1	2	1	2	3	1,5	4	1	6
	D	Reductor de velocidad FALK	3-D-1	Falla los rodamientos	1. Falla de rodamientos por término de vida útil -Falla por déficit de lubricación -Falla por contaminación del lubricante.	1. Realizar ruta de medición sintomática de vibración y temperatura para realizar detección de falla en rodamientos y anomalías en lubricación.	2	1	2	0	2	0	1,1	2	3	6,6
			3-D-2	Falla lubricación	2. Falla por déficit por no ejecución de la lubricación -Falla por frecuencia inadecuada de relubricación - Desgaste empaquetaduras y retenes. -Filtraciones debido a estado gaseoso, sobrecalentamiento -Pérdida de propiedades mecánicas de lubricante - Contaminación del lubricante	2. Realizar ruta de lubricación para verificar nivel de aceite, filtraciones, estado del visor, estado de los vasos de rellenos automáticos y venteos del reductor. Realizar cambio de aceite semanal del reductor(conjunto rotorio) producto de la contaminación con agua.	1	0	0	0	3	0	1,0	2	3	5,7
			3-D-3	Vibración excesiva	3. -Rotura de dentadura engranes -Soltura de rodamientos ejes	3. Realizar ruta de medición sintomática de vibración para realizar detección de frecuencia de engranes y detectar soldaduras mecánicas.	1	1	1	0	4	0	1,6	2	1	3,1

Anexo 3: Planes de trabajo

 MANTENIMIENTO MECÁNICO 2500H BOMBA 4X6-17 DETENIDO							
APLICA A :	P70-1,2,3. P7-1,2,3. P5-1,2. P4-1,2. P6-1,2.	EQUIPO :	BBA. 4X6-17	OT :			
CÓDIGO :		FECHA :		HORA INICIO :			
PUESTO TRABAJO :	PMC-MECÁNICOS PLANTA ÁCIDO	HORA TERMINO :					
CENTRO DE TRABAJO :		FIRMA :					
PERSONAS :	2						
DURACIÓN :	12 Hrs						
RESPONSABLE							
INSPECCIÓN :							
ADVERTENCIAS DE SEGURIDAD	1. Realizar ART identificando los riesgos y sus controles.			5. Aplicar 5S.			
	2. Utilizar EPP adecuado para el trabajo.			6. Cumplir con los procedimientos de trabajo.			
	3. Use arnés y andamios cuando corresponda.			7. Bloqueo de equipo			
	4. Delimitar el área de trabajo.			8. Procedimientos:			
CHECK LIST EPP							
CASCO		GUANTES		LENTES		ZAPATOS DE SEGURIDAD	
CHALECO		RESPIRADOR		PROTECTORES AUDITIVOS		OTROS EPP ESPECÍFICOS:	
SISTEMA/COMPONENTE	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	PARAMETRO	ESTADO B/M	TAREA SECUNDARIA	AVISO NOTIFICACIÓN		
BARANDAS:	Inspeccionar apoyos soldados y/o apemados y pasamanos.	Asegurarse de tener apoyos soldados y/o apemados, superficie debe encontrarse limpia de polvo o algún otro material sólido.	B M NO Aplica	Limpiar elementos que dificulten el paso/ solicitar soldadura o fijación de barandas			
PISO GREATING	Verificar ajuste correcto y que ranuras no estén golpeadas, deformadas y que no tengan resto de material que pueda caer ocasionando un riesgo para algún trabajador o equipo.	Sin fisuras cordones de soldadura, sin cantos vivos en barandas y pasamanos.	B M NO Aplica	Solicitar soldadura o fijación/ eliminar cantos vivos			
ESCALERAS DE ACCESO	Examinar puntos de uniones soldadas y/o apemadas, asegurarse que no falten pernos, verificar que los pasamanos estén limpios, comprobar que la estructura tenga la pintura adecuada libre de corrosión.	Sin solduras de pernos en soportes, firme sujeción de líneas.	B M NO Aplica	Apretar pernos y asegurar sujeción de líneas			

SISTEMA/COMPONENTE	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	LIMITE ACEPTABLE	ESTADO B/M	TAREA SECUNDARIA	AVISO NOTIFICACIÓN
EMPAQUETADURA DEL FRAME	Cambiar empaquetadura de sellado del frame	Anillo Nuevo	B M NO Aplica	N/A	
CAMISA EJE	cambiar camisa del eje	Sin fuga de fluido	B M NO Aplica	N/A	
CARCASA	Inspeccionar carcasa Interiormente y realizar medición de calce de Stuffing Box	Carcasa sin pitting y fisura	B M NO Aplica	N/A	
CARCASA	Cambiar Empaquetadura de carcasa y Realizar Limpieza exterior	Carcasa sin pitting y fisura	B M NO Aplica	N/A	
SELLO MECÁNICO	Inspeccionar visualmente sello mecánico	Sin goteo excesivo ni trisaduras ni pitting	B M NO Aplica	Cambio de sello mecánico	
EJE	Inspeccionar visualmente eje, y canal chavetero	Sin desgaste ni deformaciones	B M NO Aplica	N/A	
IMPULSOR	Cambiar impulsor (impeller)	Impulsor Nuevo	B M NO Aplica	N/A	
IMPULSOR	Cambiar O'ring del impulsor (impeller)	Impulsor Nuevo	B M NO Aplica	N/A	
STUFFING BOX	Cambiar Stuffing box y sus componentes	Sin fracturas ni desgastes	B M NO Aplica	Solicitar cambio de Staffing Box	
MESA TENSORA	Alinear sistema motriz motor-bomba		B M NO Aplica	N/A	
MOTOR BOMBA	Reapretar pernos de fijacion motor	Pernos sin rodadura desgaste o corrosion	B M NO Aplica	Solicitar torquear y reponer pernos	
MOTOR BOMBA	Revisar paralelismo entre el eje del motor y el eje de la bomba.	Ambos ejes deben estar paralelos. Las caras frontales de las poleas deben estar correctamente alineadas.	B M NO Aplica	Solicitar equipo para realizar el paralelismo	
PORTA RODAMIENTO	Inspeccionar visualmente caja porta rodamiento	Según estandar	B M NO Aplica	Solicitar cambio si es requerido	
PROTECCIONES	Reparar protecciones y apretar pernos de sujecion	Protecciones en buen estado	B M NO Aplica	N/A	

ESTADO: B: BUENO M: MALO No Aplica: No se realizó actividad

HERRAMIENTAS NECESARIAS			
CANTIDAD	DETALLE		

REPUESTOS			
CODIGO SAP	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	
730785163	1	Empaquetadura Frame/Adapter	
B04553A 2230	1	Camisa eje	
70782 182 5117	1	Empaquetadura de carcasa	
0D04563A02 1204	1	Impulsor	
C02495A34 6359	1	O-ring Impulsor AS568-34	
RC04117A01 1204	1	Stuffing Box (Sello Mecánico)	
49519 59 2228	4	Gollas Stuffing Box to Sello Mecánico	
49507 9 2228	4	Tuercas Stuffing Box to Sello Mecánico	

INFORMACION TECNICA RELEVANTE PARA LA MANTENCION

VºBº SUPERVISOR DE TURNO	
Nombre Completo:	
Rut:	
Firma:	Fecha:
Comentarios:	

 **INSPECCIÓN MECÁNICA 14D BOMBA 4X6-17 OPERANDO**

APLICA A :	P70-1,2,3. P71-1,2,3. P5-1,2. P4-1,2. P6-1,2.	EQUIPO :	BBA. 4X6-17
CÓDIGO :		OT :	
PUESTO TRABAJO :	PMC-MECÁNICOS PLANTA ÁCIDO	FECHA :	
CENTRO DE TRABAJO :		HORA INICIO :	
PERSONAS :	2	HORA TERMINO :	
DURACIÓN :	2 Hrs	FIRMA :	
RESPONSABLE			
INSPECCIÓN :			

ADVERTENCIAS DE SEGURIDAD	1. Realizar ART identificando los riesgos y sus controles.	5. Aplicar 5S.
	2. Utilizar EPP adecuado para el trabajo.	6. Cumplir con los procedimientos de trabajo.
	3. Use arnés y andamios cuando corresponda.	7. Bloqueo de equipo
	4. Delimitar el área de trabajo.	8. Procedimientos:

CHECK LIST EPP							
CASCO		GUANTES		LENTES		ZAPATOS DE SEGURIDAD	
CHALECO		RESPIRADOR		PROTECTORES AUDITIVOS		OTROS EPP ESPECÍFICOS:	

SISTEMA/COMPONENTE	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	PARAMETRO	ESTADO B/M	TAREA SECUNDARIA	AVISO NOTIFICACIÓN
BARANDAS:	Inspeccionar apoyos soldados y/o apemados y pasamanos.	Asegurarse de tener apoyos soldados y/o apemados, superficie debe encontrarse limpia de polvo o algún otro material sólido.	B M NO Aplica	Limpiar elementos que dificulten el paso/ solicitar soldadura o fijación de barandas	
PISO GREATING	Verificar ajuste correcto y que ranuras no estén golpeadas, deformadas y que no tengan resto de material que pueda caer ocasionando un riesgo para algún trabajador o equipo.	Sin fisuras cordones de soldadura, sin cantos vivos en barandas y pasamanos.	B M NO Aplica	Solicitar soldadura o fijación/ eliminar cantos vivos	
ESCALERAS DE ACCESO	Examinar puntos de uniones soldadas y/o apemadas, asegurarse que no falten pernos, verificar que los pasamanos estén limpios, comprobar que la estructura tenga la pintura adecuada libre de corrosión.	Sin solturas de pernos en soportes, firme sujeción de líneas.	B M NO Aplica	Apretar pernos y asegurar sujeción de líneas	

SISTEMA/COMPONENTE	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	LIMITE ACEPTABLE	ESTADO B/M	TAREA SECUNDARIA	AVISO NOTIFICACIÓN
EMPAQUETADURA DEL FRAME	Inspeccionar y verificar filtraciones y fugas en sistema de sellado del Frame	Sin fuga de fluido	B M NO Aplica	Acomodar y/o cambiar anillo interna	
CAÑERÍA ALIMENTACIÓN	Inspeccionar cuerpo y conexiones cañería	Sin filtraciones y fugas visibles, corrosión, desgaste y fisuras	B M NO Aplica	Solicitar reparación de cañería	
CAÑERÍA ALIMENTACIÓN	Inspeccionar Flange y empaquetadura	Sin fuga por flanges	B M NO Aplica	Cambio de empaquetadura y reapriete de flanges	
CAÑERÍA DESCARGA	Inspeccionar cuerpo y conexiones cañería	Sin filtraciones y fugas visibles, corrosión, desgaste y fisuras	B M NO Aplica	Solicitar reparación de cañería	
CAÑERÍA DESCARGA	Inspeccionar Flange y empaquetadura	Sin fuga por flanges	B M NO Aplica	Cambio de empaquetadura y reapriete de flanges	
CARCASA	Inspección y Limpieza de carcasa exterior	Carcasa sin material, corrosión ni fisuras	B M NO Aplica	Reparación de carcasa	
MACHÓN DE ACOPLAMIENTO	Inspeccionar elastomero de acople de machón	Rendimiento dentro del diseño de bomba	B M NO Aplica	Solicitar cambio de Elastomero	

IMPULSOR	Verificar rendimiento de bomba con sala de control	Rendimiento dentro del diseño de bomba	B M NO Aplica	Solicitar cambio de Impulsor	
MANGUERA AGUA SELLO	Inspeccionar manguera agua sello	Manguera agua sello en posición de alimentación	B M NO Aplica	Solicitar cambio tubing	
MESA TENSORA	Inspeccionar pernos de alineamiento	Pernos apretados y existencia de todos	B M NO Aplica	Solicitar apriete de pernos	
MOTOR BOMBA	Reapretar pernos de fijación motor	Pernos sin rodadura desgaste o corrosión	B M NO Aplica	Solicitar cambio y apriete de pernos	
PORTA RODAMENTOS	Inspeccionar visualmente caja porta rodamiento	Según estándar	B M NO Aplica	Solicitar cambio si es requerido	
PORTA RODAMENTOS	Inspeccionar visualmente nivel de aceite de porta rodamiento	Según estándar	B M NO Aplica	Solicitar cambio si es requerido	
SELLO MECÁNICO	Inspeccionar visualmente sello mecánico	Sin goteo excesivo ni trisaduras ni pitting	B M NO Aplica	Cambio de sello mecánico	
PROTECCIONES	Inspeccionar pernos de sujeción, protecciones y limpiar	Sin pernos sueltos las protecciones deben ser efectivas, evitar cualquier posibilidad de contacto con partes móviles.	B M NO Aplica	Solicitar apriete de pernos y reparación de protecciones	
VALVULA ALIMENTACION MANUAL	Inspeccionar Valvula actue correctamente	Abra y cierra normalmente	B M NO Aplica	Solicitar el cambio de válvula	
VALVULA ALIMENTACION MANUAL	Inspeccionar Pernos del flange de alimentación	Sin pernos sueltos y todos existentes	B M NO Aplica	Solicitar cambio y apriete de pernos	
VALVULA ALIMENTACION MANUAL	Lubricar valvula manual	20 mg de Alvania EP-2	B M NO Aplica	N/A	
VALVULA DESCARGA	Inspeccionar Valvula actue correctamente	Abra y cierra normalmente	B M NO Aplica	Solicitar el cambio de válvula	
VALVULA DESCARGA	Inspeccionar Pernos del flange de descarga	Sin pernos sueltos y todos existentes	B M NO Aplica	Solicitar cambio y apriete de pernos	
VALVULA DESCARGA	Limpiar y lubricar vástago y cuchillo de válvula	20 mg de Alvania EP-2	B M NO Aplica	N/A	

ESTADO: B: BUENO M: MALO No Aplica: No se realizó actividad

HERRAMIENTAS NECESARIAS				
CANTIDAD	DETALLE			
REPUESTOS				
CODIGO SAP	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN		
INFORMACION TÉCNICA RELEVANTE PARA LA MANTENCION				
VºBº SUPERVISOR DE TURNO				
Nombre Completo:				
Rut:				
Firma:		Fecha:		
Comentarios:				

 **INSPECCIÓN MONCON 4S BOMBA 4X6-17 OPERANDO**

APLICA A :	P70-1,2,3. P71,2,3. P5-1.2. P4-1.2. P6-1.2.	EQUIPO :	BBA. 4X6-17
CÓDIGO :		OT :	
PUESTO TRABAJO :	PMC-MECÁNICOS PLANTA ÁCIDO	FECHA :	
CENTRO DE TRABAJO :		HORA INICIO :	
PERSONAS :	2	HORA TERMINO :	
DURACIÓN :	2 Hrs	FIRMA :	
RESPONSABLE INSPECCIÓN :			

ADVERTENCIAS DE SEGURIDAD	1. Realizar ART identificando los riesgos y sus controles.	5. Aplicar 5S.
	2. Utilizar EPP adecuado para el trabajo.	6. Cumplir con los procedimientos de trabajo.
	3. Use arnés y andamios cuando corresponda.	7. Bloqueo de equipo
	4. Delimitar el área de trabajo.	8. Procedimientos:

CHECK LIST EPP				
CASCO 	GUANTES 	LENTES 	ZAPATOS DE SEGURIDAD 	
CHALECO 	RESPIRADOR 	PROTECTORES AUDITIVOS 	OTROS EPP ESPECÍFICOS:	

SISTEMA/COMPONENTE	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	PARAMETRO	ESTADO B/M	TAREA SECUNDARIA	AVISO NOTIFICACIÓN
BARANDAS:	Inspeccionar apoyos soldados y/o apemados y pasamanos.	Asegurarse de tener apoyos soldados y/o apemados, superficie debe encontrarse limpia de polvo o algún otro material sólido.	B M NO Aplica	Limpiar elementos que dificulten el paso/ solicitar soldadura o fijación de barandas	
PISO GREATING	Verificar ajuste correcto y que ranuras no estén golpeadas, deformadas y que no tengan resto de material que pueda caer ocasionando un riesgo para algún trabajador o equipo.	Sin fisuras cordones de soldadura, sin cantos vivos en barandas y pasamanos.	B M NO Aplica	Solicitar soldadura o fijación/ eliminar cantos vivos	
ESCALERAS DE ACCESO	Examinar puntos de uniones soldadas y/o apemadas, asegurarse que no falten pernos, verificar que los pasamanos estén limpios, comprobar que la estructura tenga la pintura adecuada libre de corrosión.	Sin solturas de pernos en soportes, firme sujeción de líneas.	B M NO Aplica	Apretar pernos y asegurar sujeción de líneas	

SISTEMA/COMPONENTE	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	LIMITE ACEPTABLE	ESTADO B/M	TAREA SECUNDARIA	AVISO NOTIFICACIÓN
MOTOR BOMBA	Realizar medición de Vibraciones	Realizar análisis de Vibraciones de acuerdo a Norma ISO 10816-3	B M NO Aplica	N/A	
MOTOR BOMBA	Realizar medición de Termografía	Temperatura máxima del componente no debe superar los 60°C	B M NO Aplica	N/A	
PORTA RODAMENTOS	Realizar medición de Vibraciones	Realizar análisis de Vibraciones de acuerdo a Norma ISO 10816-3	B M NO Aplica	N/A	
PORTA RODAMENTOS	Realizar medición de Termografía	Temperatura máxima del componente no debe superar los 60°C	B M NO Aplica	N/A	
PORTA RODAMENTOS	Rellenar con aceite caja porta rodamiento	Según estandar	B M NO Aplica	N/A	

HERRAMIENTAS NECESARIAS					
CANTIDAD	DETALLE				

REPUESTOS		
CODIGO SAP	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
	1400 ml	Mobil DTE 68 Heavy Medium
		Shell turbo T-68

INFORMACION TECNICA RELEVANTE PARA LA MANTENCION

V°B° SUPERVISOR DE TURNO
Nombre Completo:
Rut:
Firma: Fecha:
Comentarios:

 **INSPECCIÓN MONCON 4S VENTILADOR CENTRIFUGO**

APLICA A :	V25-1.2 V5-1.2	EQUIPO :	VENTILADOR C.
CÓDIGO :		OT :	
PUESTO TRABAJO :	PMC-MECÁNICOS PLANTA ÁCIDO	FECHA :	
CENTRO DE TRABAJO :		HORA INICIO :	
PERSONAS :	2	HORA TERMINO :	
DURACIÓN :	2 Hrs	FIRMA :	
RESPONSABLE :			
INSPECCIÓN :			

ADVERTENCIAS DE SEGURIDAD	1. Realizar ART identificando los riesgos y sus controles.	5. Aplicar 5S.
	2. Utilizar EPP adecuado para el trabajo.	6. Cumplir con los procedimientos de trabajo.
	3. Use arnés y andamios cuando corresponda.	7. Bloqueo de equipo
	4. Delimitar el área de trabajo.	8. Procedimientos:

CHECK LIST EPP

CASCO 	GUANTES 	LENTES 	ZAPATOS DE SEGURIDAD 
CHALECO 	RESPIRADOR 	PROTECTORES AUDITIVOS 	OTROS EPP ESPECÍFICOS:

SISTEMA/COMPONENTE	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	PARAMETRO	ESTADO B/M	TAREA SECUNDARIA	AVISO NOTIFICACIÓN
BARANDAS:	Inspeccionar apoyos soldados y/o apemados y pasamanos.	Asegurarse de tener apoyos soldados y/o apemados, superficie debe encontrarse limpia de polvo o algún otro material sólido.	B M NO Aplica	Limpiar elementos que dificulten el paso/ solicitar soldadura o fijación de barandas	
PISO GREATING	Verificar ajuste correcto y que ranuras no estén golpeadas, deformadas y que no tengan resto de material que pueda caer ocasionando un riesgo para algún trabajador o equipo.	Sin fisuras cordones de soldadura, sin cantos vivos en barandas y pasamanos.	B M NO Aplica	Solicitar soldadura o fijación/ eliminar cantos vivos	
ESCALERAS DE ACCESO	Examinar puntos de uniones soldadas y/o apemadas, asegurarse que no falten pemos, verificar que los pasamanos estén limpios, comprobar que la estructura tenga la pintura adecuada libre de corrosión.	Sin solturas de pemos en soportes, firme sujeción de líneas.	B M NO Aplica	Apretar pemos y asegurar sujeción de líneas	

SISTEMA/COMPONENTE	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	LIMITE ACEPTABLE	ESTADO B/M	TAREA SECUNDARIA	AVISO NOTIFICACIÓN
ESTRUCTURA SOPORTE	Inspeccionar con tiras penetrantes	Sin fracturas, ni vacancias	B M NO Aplica	N/A	
MOTOR	Realizar medición de Vibraciones	Realizar analisis de Vibraciones de acuerdo a Norma ISO 10816-3	B M NO Aplica	N/A	
MOTOR	Realizar medición de Termografía	Temperatura máxima del componente no debe superar los 60°C	B M NO Aplica	N/A	
REDUCTOR	Realizar medición de Vibraciones	Realizar analisis de Vibraciones de acuerdo a Norma ISO 10816-3	B M NO Aplica	N/A	
REDUCTOR	Realizar medición de Termografía	Temperatura máxima del componente no debe superar los 60°C	B M NO Aplica	N/A	
REDUCTOR	Reellenar con grasa caja porta rodamiento	Según estandar	B M NO Aplica	N/A	

ESTADO: B: BUENO M: MALO No Aplica: No se realizó actividad

CODIGO SAP	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN

INFORMACION TECNICA RELEVANTE PARA LA MANTENCION

VºBº SUPERVISOR DE TURNO	
Nombre Completo:	
Rut:	
Firma:	Fecha:
Comentarios:	

	INSPECCIÓN MECANICA 4S VENTILADOR CENTRIFUGO - DETENIDO
---	--

APLICA A :	V25-1.2 V5-1.2 VTI V10	EQUIPO :	VENTILADOR C.
CÓDIGO :		OT :	
PUESTO TRABAJO :	PMC-MECÁNICOS PLANTA ÁCIDO	FECHA :	
CENTRO DE TRABAJO :		HORA INICIO :	
PERSONAS :	2	HORA TERMINO :	
DURACIÓN :	2 Hrs	FIRMA :	
RESPONSABLE INSPECCIÓN :			

ADVERTENCIAS DE SEGURIDAD	1. Realizar ART identificandos los riesgos y sus controles.	5. Aplicar 5S.
	2. Utilizar EPP adecuado para el trabajo.	6. Cumplir con los procedimientos de trabajo.
	3. Use arnés y andamios cuando corresponda.	7. Bloqueo de equipo
	4. Delimitar el área de trabajo.	8. Procedimientos:

CHECK LIST EPP				
CASCO 	GUANTES 	LENTES 	ZAPATOS DE SEGURIDAD 	
CHALECO 	RESPIRADOR 	PROTECTORES AUDITIVOS 	OTROS EPP ESPECIFICOS:	

SISTEMA/COMPONENTE	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	PARAMETRO	ESTADO B/M	TAREA SECUNDARIA	AVISO NOTIFICACIÓN
BARANDAS:	Inspeccionar apoyos soldados y/o apemados y pasamanos.	Asegurarse de tener apoyos soldados y/o apemados, superficie debe encontrarse limpia de polvo o algún otro material sólido.	B M NO Aplica	Limpiar elementos que dificulten el paso/ solicitar soldadura o fijación de barandas	
PISO GREATING	Verificar ajuste correcto y que ranuras no estén golpeadas, deformadas y que no tengan resto de material que pueda caer ocasionando un riesgo para algún trabajador o equipo.	Sin fisuras cordones de soldadura, sin cantos vivos en barandas y pasamanos.	B M NO Aplica	Solicitar soldadura o fijación/ eliminar cantos vivos	
ESCALERAS DE ACCESO	Examinar puntos de uniones soldadas y/o apemadas, asegurarse que no falten pernos, verificar que los pasamanos estén limpios, comprobar que la estructura tenga la pintura adecuada libre de corrosión.	Sin solturas de pernos en soportes, firme sujeción de líneas.	B M NO Aplica	Apretar pernos y asegurar sujeción de líneas	

SISTEMA/COMPONENTE	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	LIMITE ACEPTABLE	ESTADO B/M	TAREA SECUNDARIA	AVISO NOTIFICACIÓN
VENTILADOR CENTRIFUGO	Inspeccionar visualmente aspas del ventilador	que se encuentren limpias y en su totalidad	B M NO Aplica	N/A	
VENTILADOR CENTRIFUGO	Inspeccionar visualmente soldadura del cono de fijación	pernos torquados y todos en su lugar	B M NO Aplica	N/A	
ESTRUCTURA SOPORTANTE	Inspeccionar visualmente pies y crucetas de estructura de soportación del colector sin corrosión	Sin evidencia de corrosión	B M NO Aplica	N/A	
REDUCTOR	Inspeccionar y Limpiar cuerpo del reductor	Detectar eventual erosión o corrosión	B M NO Aplica	Realizar aviso de reparación	
REDUCTOR	Inspeccionar Retenes de los ejes del reductor	Sin anomalías evidentes, filtración ni deformaciones	B M NO Aplica	Realizar aviso de cambio	
REDUCTOR	Inspeccionar elastomero de acople de machón	Sin anomalías evidentes ni deformaciones	B M NO Aplica	Realizar aviso de cambio	
REDUCTOR	Inspeccionar protecciones de elementos rodantes	Sin anomalías evidentes ni deformaciones	B M NO Aplica	Realizar aviso de reparación	
REDUCTOR	Comprobar el nivel de aceite del reductor	Se debe encontrar entre el max y minimo de trabajo	B M NO Aplica	Realizar aviso de relleno	
REDUCTOR	Inspeccionar y limpiar Respiradero del reductor	No se debe encontrar tapado con material	B M NO Aplica	Realizar aviso de reparación	
REDUCTOR	Inspeccionar pernos de fijación del reductor a la mesa	No se deben encontrar sueltos, con deformaciones ni corrosión	B M NO Aplica	Realizar aviso de reapriete y/o limpieza	

SISTEMA/COMPONENTE	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	LIMITE ACEPTABLE	ESTADO B/M	TAREA SECUNDARIA	AVISO NOTIFICACIÓN
MOTOR	1.1 Realizar soplado del motor y limpiar carcasa del estator con un raspador.	La carcasa de motor debe estar limpia y sin polvo.	B M NO Aplica		
MOTOR	1.2 Retirar tapa trasera, realizar soplado y limpieza a las aspas del ventilador.	Las aspas del ventilador debe estar limpias.	B M NO Aplica		
MOTOR	1.3 Realizar soplado a la tapa trasera, limpiar orificios de la tapa trasera.	Los orificios de la tapa deben estar despejados.	B M NO Aplica		
MOTOR	1.4 Retirar la tapa de conexiones, soplar la tapa y realizar reapriete de conexiones eléctricas del motor.	Las conexiones eléctricas del motor deben estar fijas.	B M NO Aplica		
MOTOR	1.5 Limpiar con líquido dieléctrico las conexiones del motor.	Las conexiones eléctricas del motor deben estar limpias.	B M NO Aplica		
MOTOR	1.6 Revisar puesta a tierra de protección del motor.	La puesta a tierra debe estar instalada y en buen estado.	B M NO Aplica	Programar OT para reparar o sustituir puesta tierra en mal estado, dañada	
MOTOR	1.7 Verificar buen sello de la tapa de conexiones e instalar la tapa.	El sello de tapa de conexiones debe estar en buen estado.	B M NO Aplica	Programar OT para el cambio de tapa de conexiones dañadas	
MOTOR	1.8 Revisar y/o reparar flexibles y conectores del motor.	Los flexibles deben estar en buen estado y sin daños.	B M NO Aplica	Programar OT para sustituir flexibles y conectores del motor en mal estado, dañados	
MOTOR	1.9 Revisar acometida y canalizaciones del motor	Acometida y canalizaciones en buen estado, sin daños visibles	B M NO Aplica	Programar OT para reparar o sustituir acometida y canalizaciones en mal estado, dañadas	
MOTOR	2.0 Revisar estado de la pintura del motor, si esta muy dañada, pintar motor.	La pintura del motor debe estar en buen estado, sin daños	B M NO Aplica	Programar OT para pintar motor	
MOTOR	2.1 Realizar lubricación de acuerdo a manual 5-10 gr, si es mensual, 50 gr 8 meses		B M NO Aplica		

HERRAMIENTAS NECESARIAS						
CANTIDAD	DETALLE					

REPUESTOS		
CODIGO SAP	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN

INFORMACION TECNICA RELEVANTE PARA LA MANTENCION

VºBº SUPERVISOR DE TURNO
Nombre Completo:
Rut:
Firma: Fecha:
Comentarios:

Anexo 4: Cotizaciones Monitoreo vibración en línea

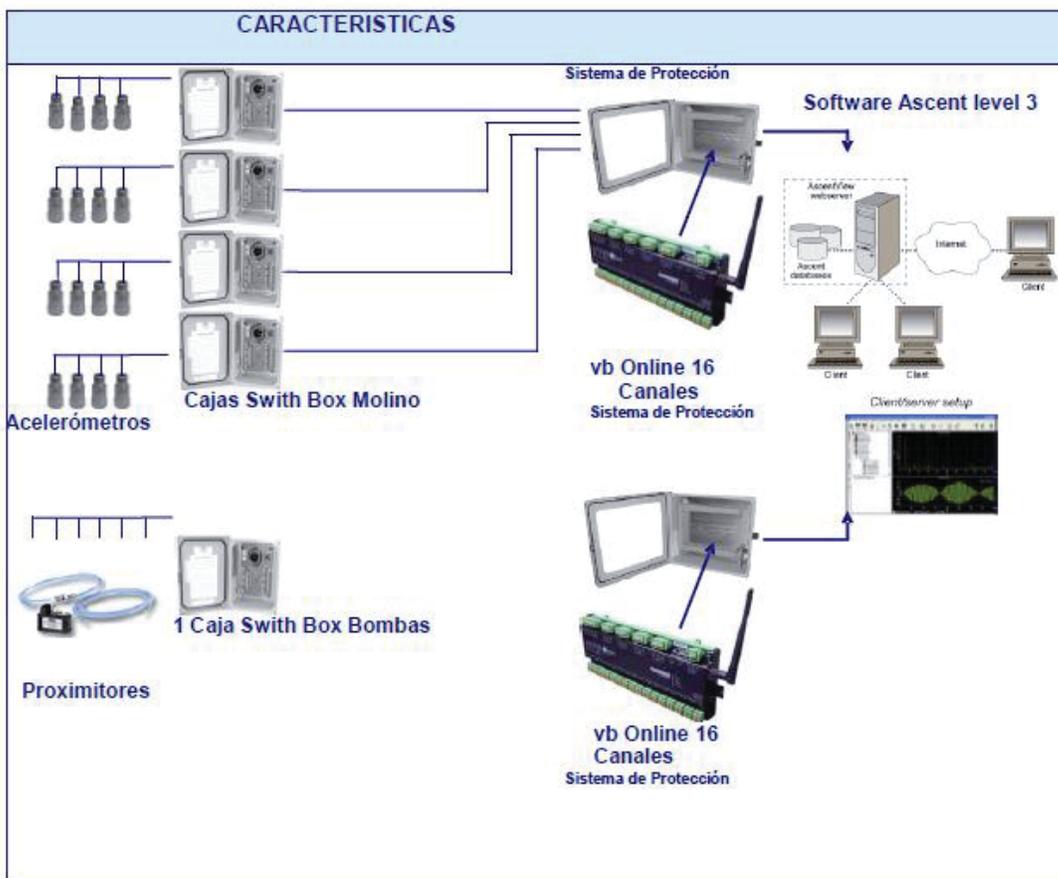
ITEM	CANT	EQUIPO	MODELO	VALOR	
				UNITARIO	TOTAL
1	30	Acelerómetro Multipropósito, 100 mV/g, conexión superior.	 AC102-1A	US \$ 266,00	US \$ 7.980,00
2	12	Kit sensor proximitor 8 mm. / EDDY CURRENT, Cable 5 mts. De extensión y Driver.	KT-DA1001	US \$ 1.315	US \$ 15.780,00
3	30	Conector 2 socket MIL, para instalación en terreno. Compatible con cable CB111.	 CF-D2C-210	US \$ 100,00	US \$ 3.000,00
4	1	Adhesivo para pads metálicos y sensores MH109-1B		US \$ 55,00	US \$ 55,00
5	600 pies	Cable CB112, Cable de teflón amarillo, liso y apantallado. 0.19" diámetro ext CB111		US \$ 4,60	US \$ 2.760,00
6	165 pies	Cable CB109, Cable multipar para señales. 0.670" diámetro ext. CB114		US \$ 15,00	US \$ 2.475,00
7	6	Caja de Recolección tipo Switch Box para 8 canales SB202-8A		US \$ 1.460,00	US \$ 8.760,00
8 línea	12	Conector de expansión para monitoreo en	 JB905-1A	US \$ 23,00	US \$ 276,00
9	3	Gabinete para montaje y protección del modulo vbOnline, marca CTC	 PM110-32	US \$ 1.450,00	US \$ 4.350,00

Cotización N° E032508/CS

ITEM	CANT	EQUIPO	MODELO	VALOR	
				UNITARIO	TOTAL
10	1	<p>vbOnline starter Kit 16 canales, Incluye Software Ascent Level 3.</p> <p>Ver notas 4, 5 y 6</p> <p><u>Incluye:</u> Software Ascent Level 3 2 Especialistas en período de configuración Instalación de Software Ascent Level 3 (en servidor, 1 PC usuarios) Configuración de la base de datos Configuración de aviso de alarmas</p> <p><u>Por parte de CODELCO</u> Parámetros de alarma (niveles y frecuencias) Punto de Red en sala donde residirá el servidor hacia los 3 sectores a monitorear (planta oxígeno, central térmica y planta de ácido) en donde se instalarán los módulos vbOnline. Asignación de número IP estático para el módulo. Estadía y transporte de especialistas de CST Ltda., durante el período de configuración del software.</p>	 KTOW0156	US \$ 25.000	US \$ 25.000
11	2	<p>vbOnline modulo adicional de 16 canales,</p> <p><u>Incluye:</u> Configuración de la base de datos Configuración de aviso de alarmas</p>	 ALCS0184	US \$ 8.000,00	US \$ 16.000,00
13	1	<p>Servidor Industrial SERVER INTEL 1 CPU QUAD-CORE XEON 5345 2.3 GHZ RAM 1 GB HDD 250 GB GRABADOR DVD 18X</p>	SERVER XE10	US \$ 2.500,00	US \$ 2.500,00
14	1	Licencias Adicionales Ascent View	SCLK0281	US \$ 3.500	US \$ 3.500

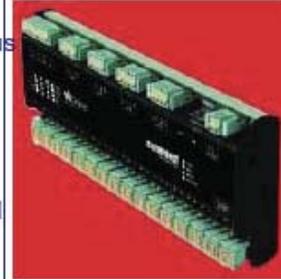
Cotización N° E032508/CS

ITEM	CANT	EQUIPO	MODELO	VALOR	
				UNITARIO	TOTAL
15	1 hora	Asesoría en Montaje (valor por hora) Ver nota 3 <u>Incluye:</u> Técnico en montaje Asesoría respecto al mecanizado de las superficies, instalación de conectores, conexionado de las señales, distribución del canalizado. Pruebas finales. <u>Por parte de Codelco</u> Estadía y transporte de técnico en montaje CST Ltda., durante el(os) periodo(s) de montaje.	 SERV -ASHH	US \$ 50,00	US \$ 50,00
16	1	Kit de Herramientas para el montaje de sensores.	 MH117-13B	US \$ 870,00	US \$ 870,00



El estándar nuevo para la vigilancia de las máquinas en línea

El sistema vbOnline™ 24/7 provee todo el tiempo la vigilancia de sus activos críticos. Es un flexible, sistema modular que constantemente y automáticamente evalúa las máquinas operando condiciones, instantáneamente notificándole cuando surgen problemas potenciales, así evitando períodos valiosos de inactividad por fallas. El sistema del vbOnline le permite coleccionar datos más eficazmente, más oportunos, y con comparativa exactitud mejorada con paso alrededor de las rutinas portátiles. Puede en forma segura monitorear las máquinas en ambientes peligrosos e inaccesibles.



La conectividad del vbOnline

La simplicidad es nuestra meta, cada dispositivo del vbOnline se conecta directamente a la red LAN/WAN del área local dentro su planta. Un simple PC o red de trabajo es capaz de usarlo, nuestro sistema puede ser tan pequeño como se requiera o tan fácilmente expandible. Como sus necesidades de vigilancia aumentan, simplemente conecte a él los Módulos adicionales.

vbOnline™

Las características

- Diseño modular para la expansión de sistema
- Compacto, fácil para instalar
- De 4 hasta 32 opciones del canales, con campo expandible.
- Poderoso software de Ascent nivel 3 de análisis de vibración
- La plataforma común del software soporta ambos vbOnline y el sistemas vb portátil
- Dobles simultáneos canales de toma de muestras
- Usuarios de simple PC o red compatible
- Cable Ethernet o conexión inalámbrica
- 24 bit analógicos hacia conversión digital
- Inteligentemente diseñado para aceptar datos de la máquina desde los siguientes tipos de sensores:
 - Acelerómetros
 - Sondas de velocidad
 - Sondas de proximidad
 - Señal AC/DC
 - 4-20 mA
- Detección automática e informes de alarmas
- El personal de fábrica alertado por mensajes de textos o por correo electrónico
- La colección de datos provocada en acontecimientos



Empresa SKF

COSTO IMPLEMENTACIÓN OLS

ITEM	CANTIDAD	EQUIPO	MODELO	VALOR USD	
				UNITARIO	TOTAL
1	72	Acelerómetro salida lateral 100 mV/g.	CMSS 2200	500	36.000
2	2	IMx 32 canales	IMx 32-S	19.530	39.060
3	1	Servidor Intel i5, 8 GB RAM, 250 GB disco duro.	IBM		2.500
4	3	Tacómetro 7 – 10.000 RPM	Crouzet		770
5	600 pies	Cable	CMSS 932		30
6		Ferretería			5.796
TOTAL SIN IVA					84.156

Característica Sensor Acelerómetro e IMx

Característica sensor

Sensibilidad: 100 mV/g

Precisión de sensibilidad: $\pm 10\%$ at $+77^{\circ}\text{F}$ ($+25^{\circ}\text{C}$)

Rango de aceleracion: 80 g peak

Linealidad amplitud: 1%

Rango de frecuencia: $\pm 10\%$; 1.0 Hz a 5,000 Hz ± 3 dB; 0.7 Hz a 10,000 Hz

Eléctrica

Fuente de tensión: +18 Vdc a +30 Vdc

Constante actual diodo: 2 a 10 mA dc, recomendado 4 mA

Impedancia de salida: < 100 Ohms

Polarización tensión: 12 Vdc

Conexión a tierra: blindaje interno

Ambiental

Rango de temperatura: -58°F a +248°F (-50°C a +120°C) temperatura de operación

Límites de vibración: 500 g peak

Límite de choque: 5,000 g peak

Sellado: hermético

Recomendación de cable: dos conductores, blindados, cubierto de teflón 30 pF/ft (100 pF/m)

Resistente y sellado herméticamente a la corrosión.

Procesamiento de datos IMX

En este proyecto se utilizara el IMx instalado en la planta, más la instalación de un IMx de 32 canales obteniendo la disponibilidad de 52 canales para monitorear bombas y ventilador.

Característica IMx

El equipo SKF IMx es un equipo de medición en línea de vibraciones y parámetros de procesos.

Luego de la configuración inicial del equipo IMx por medio de software, todas las funciones de análisis de vibraciones, accionamientos de relés, etc., son realizadas por el equipo IMx en forma autónoma. Esto le da una confiabilidad mucho mayor al sistema de análisis de vibraciones.

El equipo posee un sistema interno de análisis de espectro de vibraciones de modo que se pueden gatillar alertas y alarmas de acuerdo a los valores de vibración detectados por el equipo.

Características principales

- 32 entradas dinámicas para mediciones AC o DC (controlado por software)
- entradas digitales (RPM)
- Mediciones simultáneas de sus 32 canales con hasta 20 kHz en rango de frecuencia
- Conversor Análogo/Digital de 24 bit A/D con hasta 102400 muestras/sec
- Comunicación Ethernet
- Sistema compacto y robusto (IP 65)
- Rango de temperatura -20 A $+85$ °C

Alarmas y confiabilidad del sistema

- Detección automática de sobrecarga
- Control de integridad del sensor y cable con alarma de falla
- Detección de fallas en unidades IMx y servidor @ptitude con alarmas.
- Reinicio automático de unidades en caso de corte de alimentación.
- 7 Mb internas para almacenamiento local.
- Alimentación de 220 VAC.

Anexo 5: Costo por mantenimiento correctivo

Equipo	mantenimiento correctivo	costo en USD
VENT. V10	\$ 20.312.950	\$ 32.763
VENT. V5-1	\$ 15.721.810	\$ 25.358
VENT. V25-1	\$ 14.784.773	\$ 23.846
BBA P70-1	\$ 9.500.000	\$ 15.323
BBA P70-2	\$ 9.180.000	\$ 14.806
BBA P7-1	\$ 8.844.630	\$ 14.266
BBA P7-2	\$ 7.900.000	\$ 12.742
VENT. V25-2	\$ 7.043.890	\$ 11.361
BBA P5-1	\$ 6.924.960	\$ 11.169
BBA P6-1	\$ 6.790.000	\$ 10.952
VENT. V5-2	\$ 6.747.870	\$ 10.884
BBA P54	\$ 6.653.000	\$ 10.731
BBA P20-1	\$ 6.346.030	\$ 10.236
BBA P20-2	\$ 6.266.000	\$ 10.106
BBA P5-2	\$ 5.891.103	\$ 9.502
BBA P2-1	\$ 5.811.393	\$ 9.373
BBA P4-1	\$ 5.709.530	\$ 9.209
BBA P6-2	\$ 4.714.630	\$ 7.604
BBA P2-2	\$ 4.580.000	\$ 7.387
BBA P7-3	\$ 4.204.000	\$ 6.781
BBA P4-2	\$ 3.923.410	\$ 6.328
BBA P2-3	\$ 3.896.410	\$ 6.285
BBA P1-1	\$ 3.801.670	\$ 6.132
BBA P10-1	\$ 3.589.260	\$ 5.789
BBA P10-2	\$ 2.908.146	\$ 4.691
BBA P22-2	\$ 2.854.810	\$ 4.605
BBA P9-1	\$ 2.854.810	\$ 4.605
BBA P1-2	\$ 2.810.000	\$ 4.532
BBA P9-2	\$ 2.697.380	\$ 4.351
BBA P3-1	\$ 2.679.260	\$ 4.321
BBA P3-2	\$ 2.128.450	\$ 3.433
BBA P21-1	\$ 1.934.641	\$ 3.120
BBA P21-2	\$ 1.863.609	\$ 3.006
BBA P23-1	\$ 1.800.000	\$ 2.903
BBA P10-3	\$ 1.636.820	\$ 2.640

BBA P22-1	\$ 1.440.810	\$ 2.324
BBA P70-3	\$ 1.324.630	\$ 2.137
VENT. MILJO	\$ 1.202.400	\$ 1.939
BBA P23-2	\$ 540.200	\$ 871
VENT. FLAKT1	\$ 366.277	\$ 591
VENT. FLAKT2	\$ 195.000	\$ 315
Total general	\$ 210.374.562	\$ 339.314

Anexo 6: Listado de materiales y cotización



DIVISION CODELCO VENTANA
MONITOREO ONLINE VIBRACIONES
Listado de Materiales



CUBICACIÓN TOTAL					
Item	Descripción	Ubicación	Suministro	Unidad	Cantidad
1	Sensor de vibración (*)	Bomba P61 (K3)	Codelco	ctu	52
2	Cable de Sensores (*)	Todos los equipos	Codelco	ctu	52
3	Base de montaje (*)	Todos los equipos	Codelco	ctu	52
4	Termocontrable 25/8 U	Todos los equipos	Codelco	m	6
5	Prensa cable PG7 PVC	Todos los equipos	Codelco	ctu	60
6	Abrazadera Omega 1/2" (4 cada 1 m) Acero Inoxidable	Todos los equipos	Codelco	ctu	479
7	Conduit Flexible PVC 1/2"	Todos los equipos	Codelco	m	120
8	Conector Recto 1/2" PVC	Todos los equipos	Codelco	ctu	60
9	Tuerca 1/2" PVC	Todos los equipos	Codelco	ctu	60
10	Contratuera 1/2" PVC	Todos los equipos	Codelco	ctu	60
11	Caja de paso 165*165*81mm Policarbonato Protección UV (*)	Todos los equipos	Codelco	ctu	15
12	Terminal HE 3/4" PVC	Todos los equipos	Codelco	ctu	18
13	Tuerca 3/4" PVC	Todos los equipos	Codelco	ctu	35
14	Contratuera 3/4" PVC	Todos los equipos	Codelco	ctu	35
15	Terminal HI 3/4" PVC	Todos los equipos	Codelco	ctu	18
16	Conector Recto 3/4" PVC	Todos los equipos	Codelco	ctu	35
17	Conduit Rígido 3/4" PVC SCH 80 Protección UV	Todos los equipos	Codelco	m	150
18	Abrazadera RUC 3/4" Acero Inoxidable con perno	Todos los equipos	Codelco	ctu	150
19	Conduit Flexible PVC 3/4"	Todos los equipos	Codelco	m	9
20	Conduit LB 3/4" PVC	Todos los equipos	Codelco	ctu	22
21	Condulet T 3/4" PVC	Todos los equipos	Codelco	ctu	22
22	Terminal HE 1 1/4" PVC	Todos los equipos	Codelco	ctu	3
23	Tuerca 1 1/4" PVC	Todos los equipos	Codelco	ctu	7
24	Contratuera 1 1/4" PVC	Todos los equipos	Codelco	ctu	7
25	Terminal HI 1 1/4" PVC	Todos los equipos	Codelco	ctu	3
26	Conector Recto 1 1/4" PVC	Todos los equipos	Codelco	ctu	10
27	Conduit Rígido 1 1/4" PVC SCH 80 Protección UV	Todos los equipos	Codelco	m	46
28	Abrazadera RUC 1 1/4" Acero Inoxidable con perno	Todos los equipos	Codelco	ctu	46
29	Conduit Flexible PVC 1 1/4"	Todos los equipos	Codelco	m	3
30	Conduit LB 1 1/4" PVC	Todos los equipos	Codelco	ctu	5
31	Condulet T 1 1/4" PVC	Todos los equipos	Codelco	ctu	5
32	Junction Box Acero Inoxidable 48 bornes (*)	Todos los equipos	Codelco	ctu	5
33	Junction Box Acero Inoxidable 12 bornes (*)	Todos los equipos	Codelco	ctu	1
34	Riel P-1000 Acero inoxidable	Todos los equipos	Codelco	m	45
35	Conector Recto 1" PVC	Todos los equipos	Codelco	ctu	10
36	Tuerca 1" PVC	Todos los equipos	Codelco	ctu	5
37	Contratuera 1" PVC	Todos los equipos	Codelco	ctu	5
38	Conduit Flexible PVC 1"	Todos los equipos	Codelco	m	3
39	Conduit Rígido 1" PVC SCH 80 Protección UV	Todos los equipos	Codelco	m	46
40	Abrazadera RUC 1" Acero inoxidable	Todos los equipos	Codelco	ctu	46
41	Cable FTP	Todos los equipos	Codelco	m	11
42	Cable de Fuerza: Cordon 1x3 cc N12 AWG	Todos los equipos	Codelco	m	27
43	1 x 4 Par. Apantallado N18 AWG	Todos los equipos	Codelco	m	263
44	1 x 8 Par. Apantallado N18 AWG	Todos los equipos	Codelco	m	525
45	Tuerca Romboidal 3/8"	Todos los equipos	Codelco	ctu	33
46	Pernos de Anclaje 3/8" x 3"	Todos los equipos	Codelco	ctu	33
47	Soldadura Acero Inoxidable 316 L 332 (36 varillas x Kg)	Todos los equipos	Codelco	Kg	3
48	Soldadura Acero Inoxidable 316 L 1/8" (22 varillas x Kg)	Todos los equipos	Codelco	Kg	4
49	Riel P-1000 Acero Galvanizado	Todos los equipos	Codelco	m	4
50	Pegamento loclite 330 (250 ml) (*)	Todos los equipos	Codelco	ctu	3
51	Activador Loclite 7367 (128 gr) (*)	Todos los equipos	Codelco	ctu	3
52	Adhesivo PVC Vinilit (Frasco 250 cc)	Todos los equipos	Codelco	ctu	6

COTIZACIÓN FERRETERÍA Y CABLES



EECOL Industrial Electrico Ltda.
14 de la Fama 2751, Conchalí, Santiago, CHILE
Fono: (56-2)620 42 00 Fax: (56-2)620 4201
RUT : 78.928.090-4



IGUIQUE: 18 de septiembre 1209-A
Fono: (56-57)418437 Fax: (56-57)423241
ANTOFAGASTA: Irarrázaval # 388 - Barrio Industrial
Fono: 55-299977 Fax: 55-491025
COPIAPO: Los Carreros 2364, Villa Los Conquistadores
Fono: (56-52)227679 Fax: (56-52)227680
RANCAGUA : Josefa Oranger 8-B
Fono: (56-72)229623 Fax: (56-72)229575
CONCEPCION: Maropolo 9038, Flexcenter Bio-Bío, Mod. 13
Fono: (56-41)485865 Fax: (56-41)485867
VIÑA DEL MAR: Quillota # 618
Fono: (56-32)883877 Fax: (56-32)698882
PUERTO MONTT: Pasaje Nuevo 18 N° 244 Villa Volcanes
Fono: (56-65)347524 Fax: (56-65)343730

COTIZACIÓN

CLIENTE CODELCO VENTANAS
ATENCIÓN : PABLO VALLADARES
FONO
FAX
E-MAIL

FECHA
N° Cotización 47
Comercial EECOL : JUAN ARAVENA

Item	Referencia	Cant.	U/M	Marca	Descripción	Precio Unitario CLP	Precio Total CLP	Entrega
1	EECOL	27	MT	EECOL	CABLE DE FUERZA DE 3X12AWG AISLACION XLPE+PVC TENSION 0,6/1KV 90°C	805	21.735	2 DIAS
2	EECOL	263	MT	EECOL	CABLE DE INSTRUMENTACION APANTALLADO DE 4X2X18AWG AISLACION PVC TENSION 300V TEMPERATURA 105°C	1.318	348.634	3 DIAS
3	EECOL	525	MT	EECOL	CABLE DE INSTRUMENTACION APANTALLADO DE 8X2X18AWG AISLACION PVC TENSION 300V TEMPERATURA 105°C	2.618	1.374.450	3 DIAS
4	15130	25	TR	EECOL	CONDUIT SCH80 3/4" 25MM 6MTS GRIS C/PROTECCION UV	3.085	77.125	3 DIAS
5	38996	9	MT	HUBBEL	CONDUIT FLEXIBLE DE PVC 3/4" GRISS	826	7.434	3-5 DIAS
6	COMEX	22	C/U	EECOL	CONDULET DE PVC GRIS LB DE 3/4"	2.133	46.926	3 DIAS
7	COMEX	22	C/U	EECOL	CONDULET DE PVC GRIS T DE 3/4"	2.466	54.252	3 DIAS
8	EECOL	15	TR	EECOL	CONDUIT SCH80 1-1/4" 40MM 3MTS GRISS C/PROTECCION UV	6.664	99.960	3 DIAS
9	19737	6	MT	3M	TERMOCONTRAIBLE DE 1/2" 12,7MM DIAMETRO NEGRA	2.205	13.230	3 DIAS
10	68845	60	C/U	BME	PRENSAESTOPA IP68 PG7	112	6.720	3 DIAS
11	EECOL	479	C/U	SYMIN	ABRAZADERA OMEGA INOX DE 1/2" 2P	1.025	490.975	5 DIAS
12	22068	15	C/U	IPEX	CAJA DE PASO DE PVC PROTECCION UV DE 200X200X100	15.302	229.530	3 DIAS
13	22163	18	C/U	EECOL	TERMINAL PVC HE SCH 80 3/4 NARANJA CON TUERCA Y CONTRATUERCA C/PROTECCION UV	787	13.806	5 DIAS
14	EECOL	18	C/U	EECOL	TERMINAL PVC HI SCH 80 3/4 C/PROTECCION UV	500	9.000	3 DIAS
15	21676	35	C/U	HUBBEL	CONECTOR RECTO DE PVC PARA FLEXIBLE DE 3/4" GRIS	2.200	77.000	3 DIAS
16	EECOL	150	C/U	SYMIN	ABRAZADERA RUC INOX 3/4" C/ PERNO Y TUERCA	813	121.950	5 DIAS
17	66729	3	C/U	EECOL	TERMINAL PVC HE SCH 80 11/4" NARANJA C/ TUERCA Y CONTRATUERCA C/PROTECCION UV	1.667	5.001	5 DIAS
18	EECOL	3	C/U	EECOL	TERMINAL PVC HI SCH 80 11/4" NARANJA C/PROTECCION UV	778	2.334	5 DIAS
19	EECOL	46	C/U	SYMIN	ABRAZADERA RUC INOX 11/4" C/ PERNO Y TUERCA	1.050	48.300	5 DIAS
20	COMEX	5	C/U	EECOL	CONDULET DE PVC GRIS LB DE 11/4"	3.467	17.335	3 DIAS
21	COMEX	5	C/U	EECOL	CONDULET DE PVC GRIS T DE 11/4"	3.733	18.665	3 DIAS
22	48649	15	TR	EECOL	RIEL P3000 DE 42X42X3000 INOX (TIRA DE 3MTS)	32.061	480.915	5 DIAS
23	28326	10	C/U	HUBBEL	CONECTOR RECTO DE PVC PARA FLEXIBLE DE 1" GRIS	2.700	27.000	3 DIAS
24	38996	3	MT	HUBBEL	CONDUIT FLEXIBLE DE PVC 1" GRISS	1.207	3.621	3 DIAS
25	15128	8	TR	EECOL	CONDUIT SCH80 1" 32MM 6MTS C/ PROTECCION UV	4.817	38.536	3 DIAS
26	EECOL	46	C/U	SYMIN	ABRAZADERA RUC INOX 1" C/ PERNO Y TUERCA	888	40.848	5 DIAS
27	12169	6	C/U	EECOL	PEGAMENTO PARA PVC TARRO DE 250CC	3.334	20.004	3 DIAS
28	24014	2	TR	EECOL	RIEL P3000 DE 42X42X3000 GALVANIZADO (TIRA DE 3MTS)	8.124	16.248	3 DIAS
29							0	
30							0	
31							0	
32							0	
33							0	
Total Oferta Base							3.709.534	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Codelco división Ventanas	- 9 -
Figura 2: Producción anual	- 10 -
Figura 3: Mapa Codelco División Ventana.....	- 11 -
Figura 4: Organigrama Superintendencia de mantenimiento.....	- 11 -
Figura 5: Proceso productivo	- 14 -
Figura 6: Planta de secado.....	- 14 -
Figura 7: Área fundición	- 15 -
Figura 8: Producto final	- 16 -
Figura 9: Proceso Planta de ácido	- 17 -
Figura 10: Planta de ácido.....	- 18 -
Figura 11: Árbol de priorización para órdenes de trabajo.....	- 21 -
Figura 12: Diagrama de Pareto	- 25 -
Figura 13: Método Jack Kanife.....	- 27 -
Figura 14: Método Jack Kanife – escala logaritmica.....	- 28 -
Figura 15: Diagrama Pareto Tiempo -fuera de servicios	- 38 -
Figura 16: Grafico Jack Kanife Planta de ácido.....	- 42 -
Figura 17: Diagrama de flujo del proceso completo de FMECA.....	- 46 -
Figura 18: Esquema Monitoreo Bombas Centrifugas	- 66 -
Figura 19: Esquema Monitoreo Extractor	- 67 -
Figura 20: Esquema Monitoreo Ventilador.....	- 67 -
Figura 21: Isométrico Monitoreo Extractor	- 68 -
Figura 22: Esquema Monitoreo de vibración en líneas.....	- 69 -
Figura 23: Layout equipos críticos.....	- 70 -
Figura 24: Esquema de instalación sistema monitoreo en línea Bombas P70-P7.....	- 71 -
Figura 25: Esquema de instalación sistema monitoreo en línea Bombas P5-P6.....	- 71 -
Figura 26: Esquema de instalación sistema monitoreo en línea Bombas P4	- 72 -
Figura 27: Esquema de instalación sistema monitoreo en línea V10-VTI.....	- 72 -

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Proceso Productos y servicios.....	- 13 -
Tabla 2: Ejemplo desarrollo FMECA	- 31 -
Tabla 3: Programa semanal Mantenimiento Planta de ácido	- 32 -
Tabla 4: Planes Preventivos y Predictivos- Mantenimiento Planta de ácido	- 33 -
Tabla 5: Probabilidad de falla	- 33 -
Tabla 6: Consecuencia de falla	- 34 -
Tabla 7: Matriz Criticidad según valores de Probabilidad y Consecuencia.....	- 35 -
Tabla 8: Matriz Criticidad Rango de criticidad y Valor Esperado de Pérdida asignado.....	- 35 -
Tabla 9: tiempos asociados a mantenimiento correctivo	- 37 -
Tabla 10: base dato para el desarrollo de Jack Kanife	- 41 -
Tabla 11: Selección de equipo critico	- 44 -
Tabla 12: Criterios de severidad para análisis FMECA.....	- 49 -
Tabla 13: Criterios de severidad para análisis FMECA.....	- 49 -
Tabla 14: Niveles de ocurrencia.....	- 49 -
Tabla 15: Niveles de detección	- 50 -
Tabla 16: Desarrollo FMECA Ventilador V10.....	- 51 -
Tabla 17: Modos de falla críticos de análisis FMECA	- 55 -
Tabla 18: Planilla complementaria para análisis FMECA. Fuente propia.	- 56 -
Tabla 19: Planes de Mantenimiento por modo de falla critico.....	- 59 -
Tabla 20: Tiempo fuera de servicio y su impacto en producción	- 61 -
Tabla 21: Tiempo de ahorro en medición de vibración	- 62 -
Tabla 22: Tiempo fuera de servicio actual.....	- 63 -
Tabla 23: disponibilidad actual	- 63 -
Tabla 24: Aumento de disponibilidad	- 63 -
Tabla 25: Producción ácido sulfúrico	- 64 -
Tabla 26: Aumento producción según disponibilidad mejorada.....	- 64 -
Tabla 27: Evaluación técnica de cotizaciones.....	- 75 -
Tabla 28: Presupuesto Mantenimiento predictivo.....	- 76 -
Tabla 29: Perdida en producción Ácido sulfúrico.....	- 77 -
Tabla 30: Flujo caja monitoreo On-Line.....	- 78 -
Tabla 31: Impacto del proyecto.....	- 81 -