



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIA Y NEGOCIOS

**ANÁLISIS DE CRITICIDAD Y FORMULACIÓN DE UN PLAN DE
MANTENIMIENTO PARA EL ÁREA DE MOLIENDA EN PLANTA
CONCENTRADORA MINERA EL SALVADOR**

Profesor Guía: Jorge Reyes Huencho

Álvaro Marcelo Tapia Vega

Copiapó, Chile 2021



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIA Y NEGOCIO

**ANÁLISIS DE CRITICIDAD Y FORMULACIÓN DE UN PLAN DE
MANTENIMIENTO PARA EL ÁREA DE MOLIENDA EN PLANTA
CONCENTRADORA MINERA EL SALVADOR**

Trabajo de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de
Ingeniero de Ejecución en Mantenimiento Industrial

Profesor Guía: Jorge Reyes Huencho

Álvaro Marcelo Tapia Vega

Copiapó, Chile 2021

AGRADECIMIENTOS

Dedico a mi esposa Fabiola Muñoz, a mis hijos Javiera Tapia Muñoz, Rafaella Tapia Muñoz y Baltazar Tapia Muñoz; por ser la plataforma de mis metas trazadas al ser mis pedestales para la continuación y termino de mis estudios.

A mis Padres Nelson Tapia Patiño y Noemi Vega Villegas, por haberme dado la base de mi formación personal y haberme enseñado las herramientas necesarias para cumplir mis metas.

A todas las demás personas que de alguna manera contribuyeron a la realización de este trabajo en especial a María Constanza Cisternas Vega.

INDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	ii
LISTADO DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedente general	3
1,2 El problema	4
1.2.1 Antecedentes	4
1.2.2 Justificación	7
1.2.3 Planteamiento del problema	8
1.2.4 Objetivos	8
Objetivo general	8
Objetivos específicos	8
1.2.5 Metodología	9
CAPITULO 2: MARCO TEORICO	10
1. Sistema de mantenimiento SOMA	10
2. Funciones de los sistemas SOMA	10
2.1 Datos básicos	10
2.2 Planificación	11
2.3 Ejecución	11
2.4 Interfases	12
2.5 Control equipos	12
3. Modelamiento de la planta de molienda	12
3.1 Proceso productivo y flujogramas de molienda	13
3.2 Diagrama lógico de proceso de molienda	15

CAPITULO 3: TIPOS DE MANTENIMIENTOS APLICADOS EN DIVISIÓN EL SALVADOR	17
1. Diagramas lógicos – funcionales	17
2. Gestión del mantenimiento.....	19
3. Tipos de mantenimientos.....	20
3.1 Mantenimiento correctivo, tipo 1.....	20
3.2 Mantenimiento programado, tipo 2.....	20
3.3 Mantenimiento preventivo, tipo 3.....	20
3.4 Mantenimiento rutinario, tipo 4	20
3.5 Mantenimiento predictivo, tipo 5.....	21
4. Plan de mantenimiento	21
5. Análisis de criticidad.....	21
6. Análisis de modos y efectos de fallas potenciales.....	22
6.1 Impacto	23
6.2 Costo de la falla	23
7. Indicador de confiabilidad	24
7.1 Mean Time Between Failure (MTBF).....	24
8. Indicador de mantenibilidad.....	24
8.1 Mean Time To Repair (MTTR).....	24
9. Indicador de disponibilidad	24
10. Indicador de utilización.....	25
CAPITULO 4: CONFIABILIDAD DE LA PLANTA DE MOLIENDA.....	26
1. Indicadores de fallas y tiempos para reparar, tiempos promedios para reparar números de fallas para el periodo 2017-2018	27
2. Criterios de evaluación.....	28

3. Demanda de mantención en Planta de Molienda.....	31
4. Resultado del análisis de criticidad	37
4.1 Identificación de funciones y fallas.....	37
5. Evaluación de condición para motores eléctricos de potencia 497KW 60Hz utilizados en molinos de barras.	38
6. Costo asociado a reparación por fallas en motores por partidas sucesivas en Molinos de barra.....	40
7. Impacto asociado a la producción por detenciones en molinos de barra.....	41
7.1 Resumen financiero de evaluación por partidas fallidas.....	42
CAPITULO 5: EVALUACIÓN DE REDISEÑO DE SOPORTE DE EJE DE ACCIONAMIENTO DE LOS MOLINOS DE BARRAS Y EVALUACIÓN DE SUSTITUCIÓN DE MOTOR ELÉCTRICO DE 497KW	43
1. Sustitución de motor	43
1.1 Evaluación CAPEX inversión y análisis de cambio de motor Síncrono 497KW ...	45
1.2 Evaluación OPEX de inversión por cambio de motor Síncrono 497KW.....	46
2. Rediseño del soporte eje piñón.....	46
CAPITULO 6: FORMULACION DE LOS PLANES DE MANTENIMIENTO RUTINARIO	49
CAPITULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	51
1. Conclusiones	51
BIBLIOGRAFÍA.....	53
ANEXOS.....	54

INDICE DE FIGURA¡Error! Marcador no definido.

Figura 1. 1 Localización Geográfica de la División Codelco El Salvador Elaboración: CODELCO, 2019	3
Figura 1. 2 Proceso Productivo de la División Salvador de Codelco. Elaboración: CODELCO, 2019.	4
.....	6
Figura 1. 3 Componentes de la Planta de Molienda Concentradora. Elaboración: Propia..	6
Figura 1. 4 Estructura de Molienda. Elaboración: Propia.....	7
Figura 2. 1 Diagrama de proceso productivo de la Concentradora DSAL. Elaboración: CODELCO, 2019.	13
Figura 2. 2 Identificación de Secciones de Molienda Concentradora. Elaboración: PI System.	14
Figura 2. 3 Flujograma del proceso de molienda de mineral de Cu. Elaboración: PI System.	15
Figura 2. 4 Diagrama lógico funcional planta de Molienda Sección 1-5 en fraccionamiento. Elaboración: Propia.....	16
Figura 3 1 Diagrama lógico funcional para cada una de las secciones 1, 2, 3 y 4 de Molienda. Elaboración: Propia.....	18
Figura 3.2. Representación lógico funcional de la sección 5 de molienda. Elaboración: Propia.....	19
Figura 4. 1 Diagrama de Pareto Sección Molienda. Elaboración: Propia.	29
Figura 4. 2 Unidad logarítmica expresada en frecuencia de falla. Elaboración: Propia.....	30
Figura 4. 3 Diagrama de Pareto primer trimestre, periodo 2017- 2018. Elaboración: Propia	33
Figura 4. 4 Diagrama de Pareto segundo trimestre, periodo 2017- 2018 Elaboración: Propia	34
Figura 4. 5 Diagrama de Pareto tercer trimestre, periodo 2017- 2018. Elaboración: Propia	35
Figura 4. 6 Diagrama de Pareto cuarto trimestre, periodo 2017- 2018. Elaboración: Propia	36
Figura 4. 7 Motores de molinos de barras de 497kw, 4.000 Voltios, 60Hz año de construcción 1957. Elaboración: Propia.....	39
Figura 4. 8 Análisis de costo por fallas, periodo 2017- 2018. Elaboración: Propia.....	40
Figura 4. 9 Evaluación de consumo de energía. Elaboración: Propia.....	41
Figura 4. 10 Promedio de detención por fallas, periodo 2017- 2018. Elaboración: Propia.	41
Figura 5. 1 Diagrama de Pareto Sección Molienda. Elaboración: Propia	45

Figura 5. 2 Evaluación de inversión por aumento de potencia en motor. Elaboración: Propia	46
Figura 5. 3 Vista lateral eje de accionamiento. Elaboración: Propia	47
Figura 5. 4 Vista superior eje de accionamiento. Elaboración: Propia	48
Figura 5. 5 Vista lateral eje de accionamiento. Elaboración: Propia	48
Figura 5. 6 Vista lateral eje de accionamiento. Elaboración: Propia	48
Figura 7. 1 Despiece de Motor 497kw actual Molinos Barra. Elaboración: Catálogo y Manual Molinos.	54
Figura 7. 2 Estructura de soporte Molinos de Barra. Elaboración: Catálogo y Manual Molinos.	54
Figura 7. 3 Data Sheet motor 597kw proyectado Molinos de Barra. Elaboración: WEG.	55
Figura 7. 4 Estructura de Motor 597kw proyectado Molinos de Barra. Elaboración: WEG.	56
Figura 7. 5 Data Sheet de embrague tipo cardan proyectado en Molinos de Barra. Elaboración: SCEM Ltda.	57
Figura 7. 6 Data Sheet de embrague tipo cardan proyectado en Molinos de Barra. Elaboración: SCEM Ltda.	58
Figura 7. 7 Costo de embrague tipo cardan. Elaboración: SCEM Ltda.	59
Figura 7. 8 Orden comercial embrague. Elaboración: SCEM Ltda.	60

INDECE DE TABLAS

Tabla 2. 1 Ubicación técnica de SAP, según nivel jerárquico de un elemento. Elaboración: Propia.....	12
Tabla 4. 1 Indicadores de fallas y tiempos promedio para reparar. Elaboración: Propia	27
Tabla 4. 2 TFS en los equipos que conforman el sistema de molienda. Elaboración: Propia.	28
Tabla 4. 3 Criterio de evaluación para análisis de Pareto. Elaboración: Propia.	29
Tabla 4. 4 Criterio de evaluación para análisis de jack- knife. Elaboración: Propia.	30
Tabla 4. 5 Criterios de evaluación para la elaboración de análisis de Pareto por sección en el periodo 2017-2018. Elaboración: Propia.....	32
Tabla 5. 1 Comparación por diferencia de consumo en motores eléctricos Elaboración: Propia	44
Tabla 5. 2 Evaluación de inversión en motores eléctricos. Elaboración: Propia	45
Tabla 6. 1 Mantenimiento rutinario inspección correspondiente a motores eléctricos. Elaboración: Propia.....	49
Tabla 6. 2 Mantenimiento rutinario inspección correspondiente a motores eléctricos. Elaboración: Propia.....	50
Tabla 6. 3 Mantenimiento rutinario inspección correspondiente a los soportes del eje de accionamiento. Elaboración: Propia	50

LISTADO DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

Símbolo / Abreviaturas

AMEF : Análisis de modos y efecto de fallas.

SOMA: Sistema operacional de mantenimiento.

SAP : Sistema, aplicación y producto en procesamiento de datos.

PM : Mantenimiento preventivo.

OT : Orden de trabajo.

DSAL : División Salvador.

MTTR : Tiempo promedio de reparación.

MTTF : Tiempo promedio de operación.

TPH : Tiempo promedio hora.

KW : Potencia en kilowatt.

kg : Kilogramo.

mm : Milímetro.

RESUMEN

El presente trabajo fue realizado en la Planta de Molienda y Concentradora de la División Salvador de Codelco Chile, con la finalidad de conservar en óptimas condiciones el funcionamiento de los equipos, para lo cual se ha realizado un análisis de criticidad, a través de la aplicación de un AMEF. En el capítulo cuatro se evalúan las fallas presentadas por los componentes mecánicos, eléctricos, hidráulicos y de instrumentación enfocados en los molinos ubicados en la molienda Concentradora, se identifican los modos de fallas potenciales y sus causas asociadas al funcionamiento, diseños de componentes y del medio ambiente. Debido a la frecuencia de fallas que se presentan en los molinos, se decidió realizar un estudio con el objetivo de formular un plan de mantenimiento rutinario que se adapte a las necesidades operativas y que permita optimizar el funcionamiento de los molinos. Para ello fue necesario establecer las bases teóricas para realizar el estudio. En ellas se plantearon, frecuencia de ejecución, indicadores y criterios de mantenimiento establecidos por la empresa Codelco DSAL. Se recopiló información, estadística de falla de molienda, datos del periodo 2017-2018 para poder realizar el cálculo de los tiempo entre fallas y tiempo promedio para reparar, de modo de poder realizar el análisis para seleccionar los equipos críticos de molienda, de este modo poder determinar los modelos de fallas potenciales de los equipos. Motivados por la frecuencia de fallas recurrentes fue necesario generar un análisis por partidas fallidas del conjunto motriz, se plantea la situación actual de los motores de accionamientos directos y se argumentan los resultados obtenidos en el análisis de modos de fallas, lo anterior obliga a considerar un completo diagnóstico de las instalaciones existentes para determinar una posible obsolescencia de estos equipos. Como conclusión del análisis de criticidad se determinan las fallas potenciales donde los resultados obtenidos, fue evaluar el rediseño de soporte en el eje flotante para un actual accionamiento de los molinos, se evaluó el cambio de los motores con accionamiento directo, por obsolescencia y ser estos equipos los que generaban un mayor índice de fallas y riesgos de detención en el proceso productivo formulando de esta manera un plan de mantenimiento para estos equipos.

MANTENIMIENTO- CONFIABILIDAD- PLANIFICACIÓN- EJECUCIÓN

ABSTRACT

This work was carried out in the grinding and concentrator plant of the Salvador División of Codelco Chile, in order to keep the operation of the equipment in optimal conditions, for which a criticality analysis has been carried out, through the application of an FMEA. In chapter 4 the failures presented by the mechanical, electrical, hydraulic and instrumentation components are evaluated focused on the mills located in the Concentrator grinding, the potential failure modes and their causes associated with the association, component designs and the environment are identified. Due to the frequency of failures that occur in the mills, it was decided to carry out a study with the objective of formulating a routine maintenance plan that adapts to operational needs and that allows optimizing the operation of the mills. For this, it was necessary to establish the theoretical bases to carry out the study. In them, the frequency of execution, indicators and maintenance criteria established by the Codelco DSAL Company were raised. Information was collected, statistics of grinding failure, data for the period 2017-2018 to be able to calculate the time between failures and average time to repair, in order to be able to perform the analysis to select the critical grinding equipment, in this way be able to determine the potential failures and average time to repair, in order to be able to perform the analysis to select the critical grinding equipment, in this way be able to determine the potential failure patterns of the equipment. Motivated by the frequency of recurring failures, it was necessary to generate an analysis for failed parts of the powertrain, the current situation of direct drive motors is discussed and the result obtained in the failure mode analysis is argued, the foregoing forces to consider a complete diagnosis of the existing facilities to determine a possible obsolescence of this equipment. As a conclusion of the criticality analysis, the analysis, the potential failures are determined where the results obtained were to evaluate the redesign of the support in the floating shaft for a current drive of the mills, the change of the motors with direct drive was evaluated, as these equipment were the that generated a higher failure rate and risk of arrest in the production process and a maintenance plan is formulated for these equipment.

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

La gran empresa minera requiere de una gestión del mantenimiento de sus activos que permita niveles de disponibilidad ajustados a los requerimientos operacionales y maximizar la confiabilidad operacional.

La solución que maximiza los resultados globales, pasa por conocer el problema total dentro de las instalaciones de una planta industrial. La ingeniería de confiabilidad puede abordar el escenario en forma global centrándose en el ciclo de vida de los equipos e instalaciones.

El servicio de mantenimiento que se le da a una planta industrial debe estar alineado con las necesidades y requerimientos de ésta, es decir, en la medida que se preste un servicio de mantenimiento adecuado, en el cual las instalaciones, máquinas o equipos tengan un funcionamiento óptimo, que incrementará la disponibilidad y efectividad de los equipos, disminuyendo las fallas y reduciendo los costos, originando un incremento en la productividad de la planta y como consecuencia su rentabilidad.

El objetivo del mantenimiento es mantener las instalaciones y equipos en óptimas condiciones para la operación, teniendo en cuenta las normas y políticas que permitan la optimización del mantenimiento.

En Codelco División Salvador, la gerencia de mantenimiento tiene como misión conservar en óptimas condiciones el funcionamiento de los equipos e instalaciones de la Planta Concentradora.

En la planta de Molienda y Concentradora actualmente tienen establecido cuatro tipos de mantenimientos: rutinario, programado, preventivo y correctivo; como consecuencia de la contaminación ambiental que se genera durante el proceso productivo de esta planta, los equipos operan en un ambiente riguroso y es necesario mejorar el mantenimiento empleado con la finalidad de disminuir la frecuencia de fallas de los equipos y es por lo mismo que se está aplicando en sus áreas un mantenimiento rutinario con una frecuencia semanal, mensual y trimestral, sin considerar su criticidad, riesgo, calidad

y grado de dificultad para conseguir repuestos. En este mantenimiento se contempla inspecciones, pruebas, ajustes, lubricación y limpieza de los equipos.

El objetivo fundamental de este trabajo es mejorar el mantenimiento rutinario actualmente aplicado en los molinos de barra y de bolas de la planta de molienda.

Un aspecto relevante del proyecto radica en lograr una correcta y confiable planificación de actividades de mantenibilidad debido al tiempo de funcionamiento, por lo que surge la necesidad de mejorar el modelo de confiabilidad de los equipos involucrados en el proceso de la planta, con la única finalidad de poder gestionar detenciones imprevistas y también ahorro de costos por intervenciones de emergencia.

En el desarrollo del problema se analizara el funcionamiento de los equipos de la planta concentradora del proceso de sulfuros de cobre; en una primera etapa se consideran todos los componentes que son ubicados y que son separados en diagramas lógicos funcional es para cada sección de molienda. Esta separación se realizará para la elaboración de análisis de fallas a través de AMEF. Y para concordar con los esquemas utilizados en la división Salvador, así de este modo poder generar un análisis de disponibilidad de los equipos en función del proceso. Para determina las fallas potenciales se obtuvieron datos que fueron evaluados a través de Pareto y Jack-Knife,

Para abordar el objetivo general y los objetivos específicos de este trabajo, se plantea una serie de metas, en la cuales se les dará cumplimiento en el desarrollo de los seis capítulos de este trabajo.

Además se formuló un análisis por partidas fallidas en los motores eléctricos de los molinos, se evaluaron costos por detenciones no programadas, también se considera un plan de mejoramiento en el accionamiento del conjunto motriz y obsolescencia de su repuesto.

1.1 Antecedente general

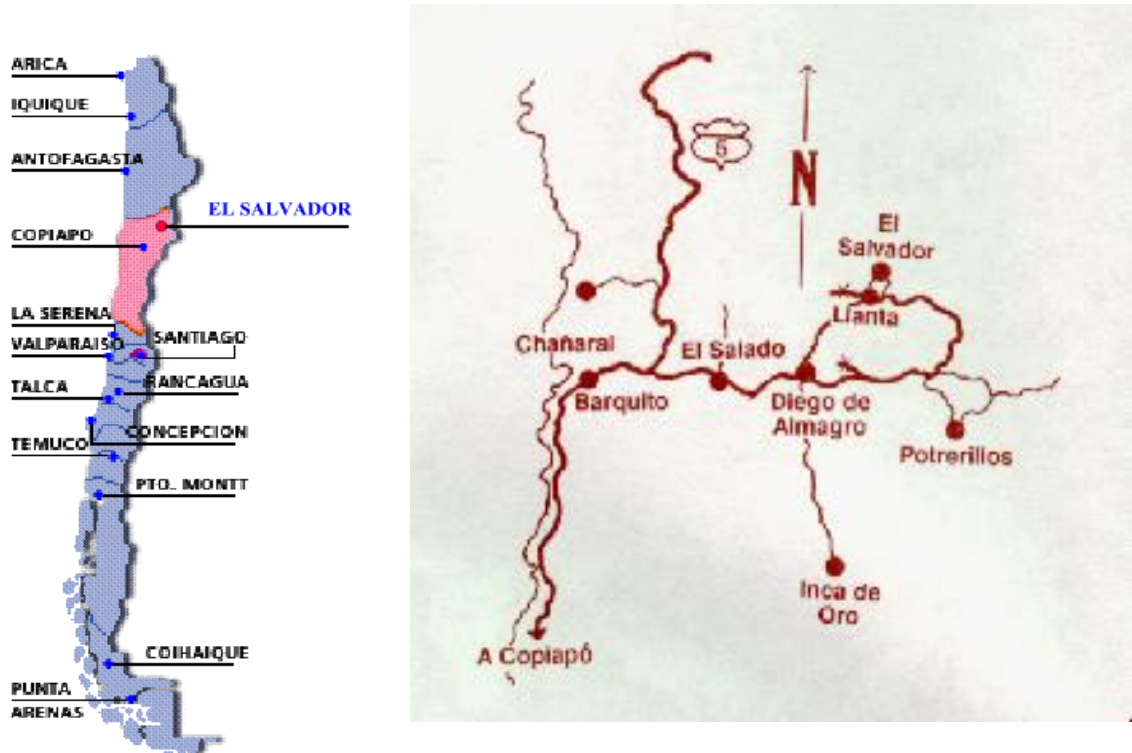


Figura 1. 1 Localización Geográfica de la División Codelco El Salvador Elaboración: CODELCO, 2019

La División Salvador de Codelco Chile, se encuentra ubicada en la ciudad del mismo nombre, en la Tercera Región de Atacama a unos 198 kms. Al noreste de Copiapó y a 1000 kms. De la ciudad de Santiago (Vía Inca de Oro). Emplazado en un sector precordillerano y a una altitud de 2400 metros sobre el nivel medio del mar, este complejo minero comprende Mina Subterránea, Minas a Cielo Abierto y Planta de Concentración, todos ubicados en las cercanías de la ciudad de Salvador; Fundición y Refinería ubicadas ambas en Potrerillos y Puerto de Barquito lugar de embarque de sus productos ubicado al sur del Puerto de Chañaral.

División Salvador tiene alrededor de 60 años de vida operacional, lo que obliga a considerar un completo diagnóstico de las instalaciones existentes para determinar la obsolescencia de los equipos y/o riesgos de incumplimiento de planes operacionales.

1,2 El problema

A continuación, se presentan los antecedentes, el planteamiento y el problema para los objetivos a abordar.

1.2.1 Antecedentes

Codelco Salvador se constituyó en el año 1959, con el objetivo fundamental de extraer y producir Cu mediante los distintos procesos productivos que esto implica.

La Planta Concentradora de la División procesa 32.000 toneladas día de mineral de los diferentes sectores de la Mina. El contenido promedio de cobre es de 0.5%. Las especies mineralógicas de cobre predominantes son Calcopirita y Calcosina; también hay cantidades importantes de Pirita, Covelina y muchos minerales menores como Bornita, Molibdenita, etc. Los circuitos de chancado, molienda y flotación recuperan un 78% de cobre aproximadamente y se produce un promedio de 600 toneladas por día de concentrado de cobre con una ley 20% Cu.

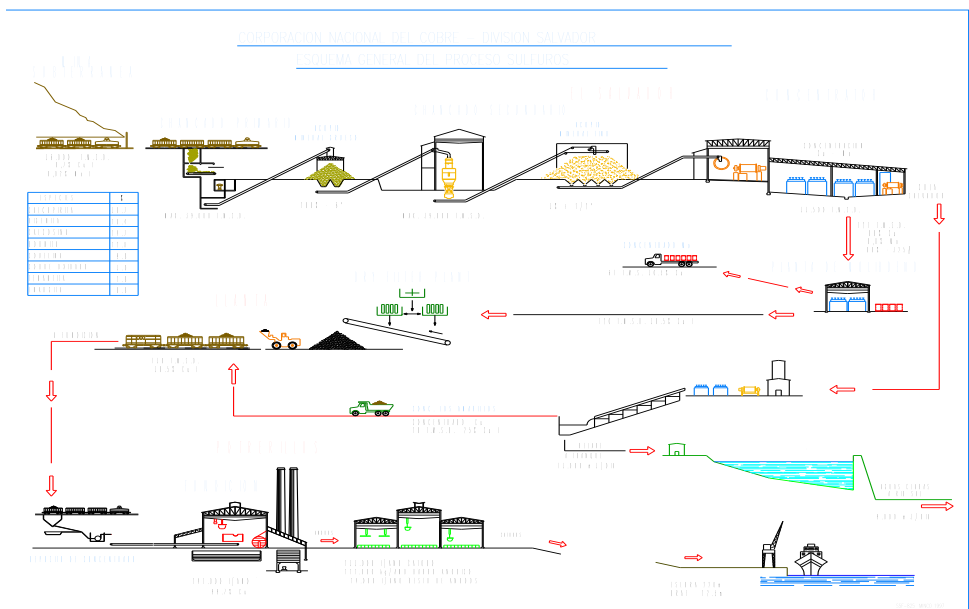


Figura 1. 2 Proceso Productivo de la División Salvador de Codelco. Elaboración: CODELCO, 2019.

El proceso de Molienda húmeda se realiza en cinco secciones, 4 de ellas son iguales y están conformadas de 1 Molino de Barras Marcy de 10' x 14' de 800 HP (cargado

con barras de 14' 3" de largo y 3 1/2" de diámetro), 2 Molinos de Bolas de 10' x 14' de 1250 HP (cargado con bolas de 2" y 2 1/2" con una distribución de 1 : 1) operando en circuito cerrado con una Batería de 2 Hidrociclones inclinados Krebs DS-26" de diámetro. La quinta sección de molienda está constituida por un Molino de Barras Marcy de 13.5' x 18' de 1610 HP (cargado con barras de 17'5" de largo y 3 1/2" de diámetro), un Molino de Bolas de 16.5' x 19' de 4000 HP (cargado con bolas de 2" y 2 1/2" en una proporción de 1:1) que opera en circuito cerrado con una Batería de 4 hidrociclones inclinados Krebs DS-26" de diámetro.

El mineral almacenado en el acopio de finos se extrae mediante 4 Alimentadores de correa, dos de velocidad variable y dos de velocidad fija, los cuales alimentan a una cinta transportadora de 27" (Correa N° 40) que conduce el mineral hasta los molinos de barras.

Los molinos de barra - bola funcionan de la siguiente manera, el motor sincrónico de partida directa acoplado al eje flotante trasmite potencia al piñón dentado haciendo girar el molino a través de la corona dentada; los molinos de barra - bola previamente cargados, al girar eleva las barras y bolas y el material haciéndolas impactar entre sí y a su vez contra el blindaje del molino triturador de material de Cu. En la figura 1.3 Se muestra los componentes de molienda.

Molino de Barras - Bolas



Figura 1. 3 Componentes de la Planta de Molienda Concentradora. Elaboración: Propia

Los molinos de barra - bolas son máquinas robustas de gran importancia para la planta de molienda, las condiciones operativas del proceso son muy rigurosas y hacen que la máquina sea un equipo crítico para la planta, el cual requiere de un mantenimiento rutinario adecuado al ambiente de trabajo.



Figura 1. 4 Estructura de Molienda. Elaboración: Propia.

1.2.2 Justificación

Debido a la criticidad de los molinos de barra - bolas dentro del proceso de obtención de Cu en el área de Molienda y debido a la data de fallas presentadas en el periodo de 2017-2018, donde hubo en un molinos de Barras 261 partidas fallidas y en un molinos de Bolas 338 partidas fallidas; es necesario realizar un estudio donde se puedan determinar los problemas que presentan estos molinos con el objeto de formular un plan de mantenimiento que se adapte a los requerimientos de los equipos y el ambiente riguroso de trabajo. Esto tiene como finalidad disminuir la frecuencia de fallas, los tiempos de parada por partidas fallidas del motor, el mantenimiento y la adecuación de los componentes, para garantizar la oportunidad, calidad y cantidad de material con contenido de Cu en el proceso de fabricación de ánodos y cátodos.

1.2.3 Planteamiento del problema

Actualmente los equipos que conforman los molinos de barra - bola presentan una alta frecuencia de fallas, que han provocado retrasos en la producción en la planta de molienda. Esta dificultad ha generado la necesidad de formular un plan de mantenimiento rutinario adaptado a las condiciones de operación de los equipos, que permita prevenir las fallas para mejorar la operatividad de la planta.

1.2.4 Objetivos

Objetivo general

A través del sistema de criticidad de los equipos que conforman los molinos de barras - bolas, formular un sistema de mantenimiento rutinario, adaptado a las condiciones ambientales del área y a las necesidades operativas de la empresa.

Objetivos específicos

- Especificar y describir los funcionamientos de los equipos que conforman la molienda.
- Elaborar historial de fallas de los equipos, con los tiempos promedios para reparar y los costos asociados al mantenimiento correctivo de los equipos de molienda en el periodo de diciembre 2017 - 2018.
- Elaborar el análisis de criticidad de los equipos de molienda.
- Reconocer y evaluar los modos de fallas potenciales y las causas asociadas con el diseño.
- Elaborar formato de chequeo de los equipos indicando las actividades del plan de mantenimiento rutinario a ejecutar y la frecuencia de inspección requerida.

1.2.5 Metodología

Basado en el planteamiento anterior los pasos a seguir para la realización del proyecto son los siguientes:

- Revisión de manuales, prácticas de mantenimiento, catálogos del fabricante, listado de repuestos codificados, especificaciones técnicas y base de datos de las fallas, de los diferentes componentes de los molinos de barra y bolas.
- Inspecciones en sitios de los componentes y operación de los molinos de barra y bolas.
- Evaluación de la base de datos, números de fallas, tiempo entre fallas.
- Aplicación del análisis de criticidad y modos y efectos de fallas.
- Análisis de los resultados.
- Conclusión y recomendaciones.

CAPITULO 2: MARCO TEORICO

A continuación, se presentan las definiciones generales de los términos técnicos involucrados en el desarrollo de este estudio. Dichos aspectos giran en torno al levantamiento y teoría del mantenimiento.

1. Sistema de mantenimiento SOMA

Es una herramienta vinculada al manejo de la gestión del mantenimiento industrial en Codelco Salvador, se maneja en el sistema integrado SAP, en el módulo PM específico para el mantenimiento, permite realizar operaciones rutinarias de la gestión, tales como avisos de avería de equipos, ordenes de trabajo de mantención, historial de las operaciones realizadas o los activos de la empresa los cuales tienen asignada una ubicación técnica en el sistema por lo que la información se debe exportar, es sencilla de utilizar, multiusuario, de gran ayuda para el manejo de los mantenimientos de cada una de las áreas. Su información actualizada, facilita la toma de decisiones sobre los mantenimientos que se realizan en la planta.

Este sistema integral de mantenimiento, SOMA. Proporciona la información necesaria para la organización asegurando la confiabilidad programación, planificación, y ejecución de los activos, el análisis y evaluación de diferentes tipos de mantenimientos (correctivo, preventivo, programado).

2. Funciones de los sistemas SOMA

Con el propósito de asegurar la confiabilidad de sus activos se requiere de una estructura organizacional con tres áreas de responsabilidad definida que son la confiabilidad, planificación y ejecución.

2.1 Datos básicos

Contiene una base de datos para el desarrollo operacional de los sistemas, catálogos de elementos, maestros de equipos, actividades del mantenimiento preventivo, rutinarios programados incluyendo la mano de obra, equipos de apoyo de recursos y prácticas operativas. Así mismo la tipificación y los motivos de las

fallas que ocurren en los diferentes procesos durante el mantenimiento y el tiempo de aplicación.

2.2 Planificación

Se planifica y programa el mantenimiento de los activos de la planta, basados en las estrategias seleccionadas, maximizando la continuidad del funcionamiento operacional, utilizando de forma eficiente el tiempo de trabajo, los recursos y materiales, elaborando así programas que permitan mantener los equipos a un nivel que responda al desempeño para el cual fue diseñado, por medio de la generación de planes de mantenimiento, considerando los recursos humanos, materiales servicio externos requeridos y el costo asociado. En este módulo se preparan planes de mantenimiento, se gestiona el flujo de trabajo y se procesa la información del mantenimiento preventivo y programado de la planta, a través de una solicitud de trabajo generada y proveniente de actividades emergentes de la plataforma SAP; estas órdenes de solicitud de averías pueden ser rechazadas o pre planificadas y a su vez modificadas, canceladas o aprobadas por el usuario según sea el caso. Después de ser aprobadas por el usuario, pasan a ser una orden de trabajo que permite recopilar toda la información necesaria para programar la orden para la ejecución el mantenimiento y finalmente ser retroalimentada a fin de cerrarla.

2.3 Ejecución

La ejecución de los planes y programas de mantenimiento establecidos para llevar a cabo de forma eficaz y eficiente las actividades del programa de mantenimiento, respetando tiempos y recursos, gestionando junto a la confiabilidad las actividades no planificadas que vayan surgiendo en el camino, retroalimentando continuamente estrategias, garantizando así la operatividad de los equipos industriales, optimizando su vida útil y disminuyendo su intervención por mantenimiento correctivo. También, se genera avisos de mantenimiento, solicitud de mantenimiento, avisos de avería y orden de trabajo (OT), este último se utiliza para definir la ejecución de una actividad de mantenimiento, con sus horas hombre y el

números de mantenedores requeridos; para planificar medidas de forma detallada con respecto a la clase, alcance, fecha y recursos, para definir normas de imputación, liquidación y presupuesto. Los datos de las OT se introducen en el historial de mantenimiento y son importantes para la evaluación y planificaciones futuras.

2.4 Interfases

La información correspondiente al mantenimiento realizado en un equipo se almacena en la plataforma SAP asociada a ubicación técnica, que representan objetos técnicos como plantas, equipos y sus componentes principales.

Por ejemplo, la ubicación técnica en SAP de la concentradora es SCON, molienda SCON- MOL, flotación SCON- FLO. Los restantes niveles pueden corresponder a un equipo o a un subsistema y su descomposición en niveles jerárquicos como se muestra a continuación en la tabla 2.1.

Tabla 2. 1 Ubicación técnica de SAP, según nivel jerárquico de un elemento. Elaboración: Propia.

Nivel Jerarquico	Molienda
Planta	SCON - MOL
subsistema o linea de produccion	SCON - MOL-XXX
Subsistema o Equipos	SCON - MOL-XXX-XXX
Subsistema o Componente de equipo	SCON - MOL-XXX-XXX-XXX

2.5 Control equipos

Se garantiza la operatividad de los equipos de la empresa mediante una adecuada planificación y ejecución de los planes y programas de mantenimiento y verificación, a través de la inspección y pruebas de los equipos que han sido intervenidos, así como de un registro y control de los mantenimientos.

3. Modelamiento de la planta de molienda

Se determinan los diagramas lógicos de la planta de molienda de concentrado de la Superintendencia Concentradora de Codelco Salvador, que indica los elementos que han de funcionar correctamente para que el sistema cumpla su función prevista.

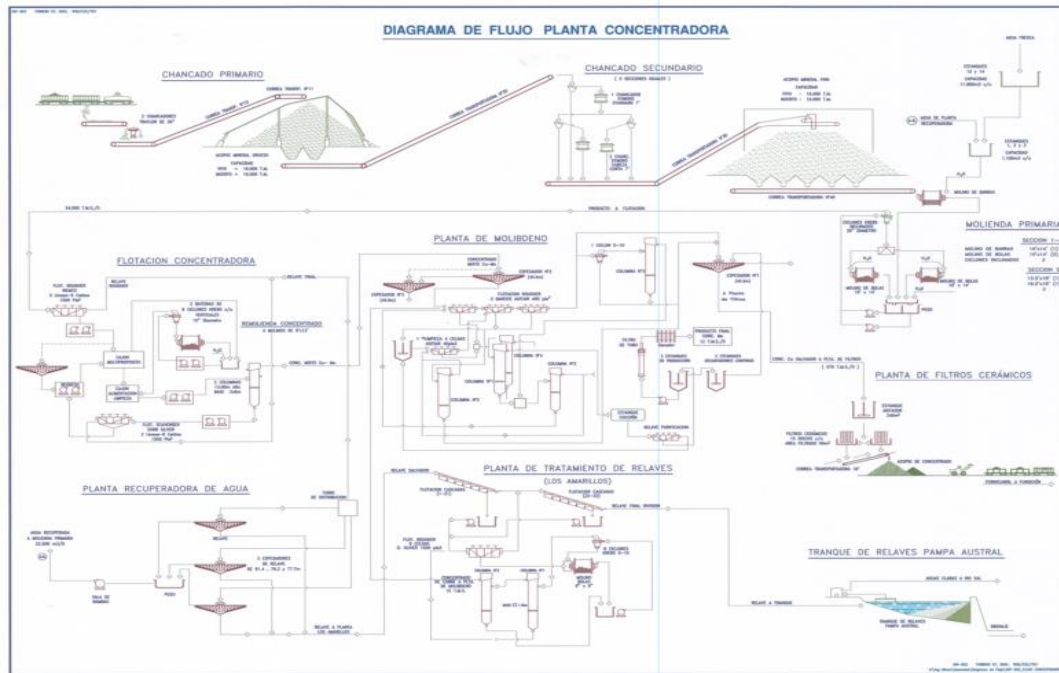


Figura 2. 1 Diagrama de proceso productivo de la Concentradora DSAL. Elaboración: CODELCO, 2019.

3.1 Proceso productivo y flujogramas de molienda

Los sistemas de la planta de molienda corresponden a una parte del proceso de producción de sulfuros de cobre en la División Salvador, la planta tiene capacidad de procesar 32.000 toneladas métricas de mineral al día, destacando el proceso de las etapas de molienda con sus flujogramas.

La etapa de molienda cumple la función de reducir el mineral previamente chancado a partículas de tamaño menor a 180 μm (CODELCO, 2019).

El sistema está constituido por una serie de sistemas y subsistemas bajo un esquema definido, con los objetivos de realizar una función específica, es decir, una agrupación de métodos y procedimientos integrales para formar una granulometría definida; a esta etapa, como ya se mencionó, se le conoce también como molienda húmeda puesto que se adiciona agua para el proceso.

Para la ubicación técnica de los equipos en planta, existe una distribución de las partes física de la molienda como se puede observar en la figura 2.2.

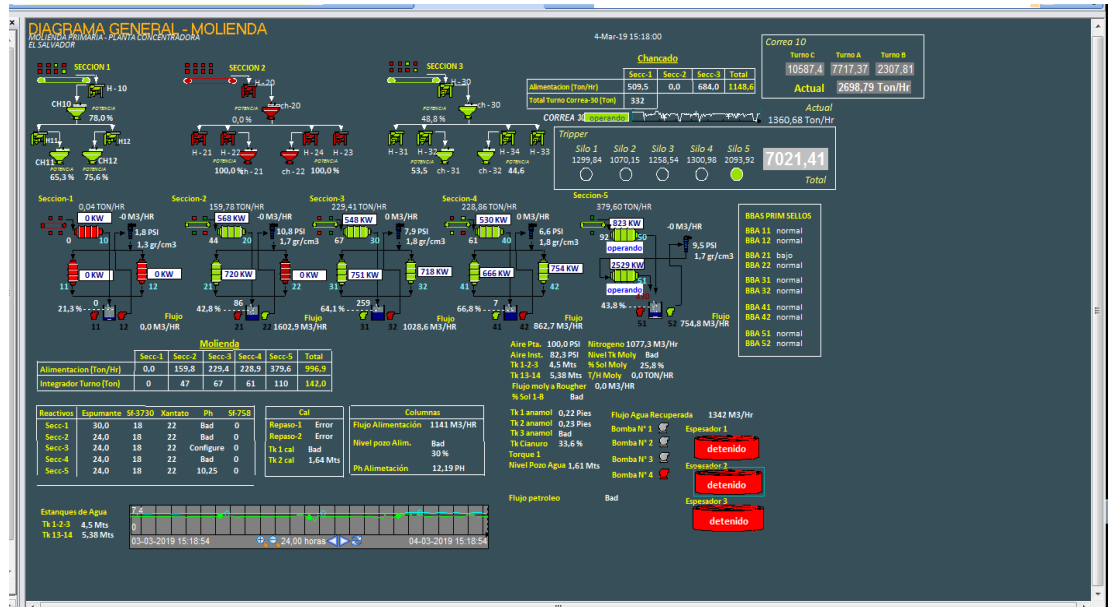


Figura 2. 2 Identificación de Secciones de Molienda Concentradora. Elaboración: PI System.

La planta de molienda está conformada por cinco secciones de molienda convencional Barra/Bola. Las primeras cuatro secciones de la planta son idénticas de acuerdo con el esquema que se muestra en una mayor capacidad productiva. La diferencia del esquema de la quinta sección de molienda, con respecto al esquema de las cuatro primeras secciones, es la reducción de cuatro a dos alimentadores de mayor capacidad. También los molinos en la quinta sección tienen mayor capacidad de procesamiento de material, los que se reducen de dos a un molino bola; el número de hidrociclones aumenta de dos a cuatro, pero de menor capacidad cada uno.

Todas las secciones de molienda tienen el siguiente proceso: unos alimentadores de cinta reciben carga desde el stockpile y alimentan una correa transportadora que descarga a un molino de barras. Al molino de barras de la sección se agrega agua para realizar una molienda húmeda, donde barras de acero más la rotación del molino ayudan a moler el mineral de sulfuro de cobre. El molino de barra descarga el mineral molido en un estanque de la sección, que luego una bomba centrífuga envía hacia una batería de hidrociclones. Los hidrociclones separan el material fino, el cual pasa a la etapa siguiente de flotación, mientras el material grueso

se descarga a unos molinos de bola para continuar moléndolo. Los molinos de bola descargan el mineral molido nuevamente al estanque de la sección para que así la bomba centrífuga lo envíe hacia los hidrociclones que clasifica el material grueso para la etapa de molienda y el material fino pasa a la etapa de flotación. Diagramas de flujo por cada sección 1-5.

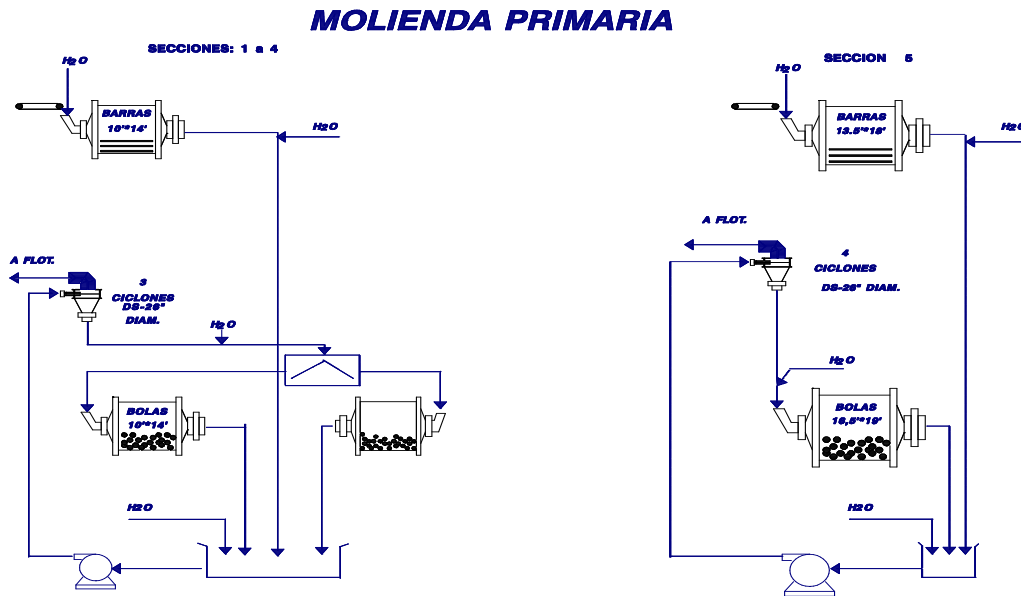


Figura 2. 3 Flujograma del proceso de molienda de mineral de Cu. Elaboración: PI System.

3.2 Diagrama lógico de proceso de molienda

Las cinco secciones en que se divide la planta de molienda cumplen la misma función, sin embargo, las primeras cuatro que son idénticas son capaces cada una de procesar 250 TPH, aproximadamente un 18% de la capacidad total de la planta. La quinta sección tiene una configuración diferente a las primeras cuatro teniendo una capacidad mayor de 380 TPH, aproximadamente un 28% de la capacidad total de la planta. La configuración lógica aplicada a las cinco secciones de la planta de molienda está dada por un fraccionamiento, puesto que se puede trabajar a una fracción del total de capacidad, donde las primeras cuatro secciones representan una

pérdida gradual o impacto del 18% cada una y la quinta sección tiene un impacto del 28%.

La confiabilidad de las secciones de la planta de molienda se puede expresar en diagramas de bloques. La configuración es fraccionamiento entre las cinco secciones.

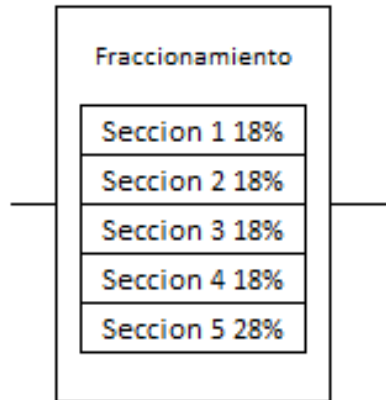


Figura 2. 4 Diagrama lógico funcional planta de Molienda Sección 1-5 en fraccionamiento. Elaboración: Propia.

CAPITULO 3: TIPOS DE MANTENIMIENTOS APLICADOS EN DIVISIÓN EL SALVADOR

1. Diagramas lógicos – funcionales

Comprender el proceso productivo de las plantas, entender la configuración de cada equipo y sus porcentajes de impacto en el proceso, permite determinar los diagramas lógicos – funcionales de la Planta de Molienda Concentradora.

Para diseñar los diagramas lógicos de la Planta de Molienda, se toma como referencia algunos casos prácticos del libro. “Ingeniería y gestión de la Confiabilidad Operacional en Plantas Industriales”, en estos casos los diagramas de la planta contemplan configuraciones lógicas de equipos que por simplicidad se consideran como unidad, por lo cual los equipos no se desglosaran en sus componentes.

La configuración lógica de las primeras cuatro secciones de la planta de molienda Barras/Bolas es idénticas en la entrada se tienen cuatro alimentadores, de los cuales se requiere tres para el correcto funcionamiento, por lo tanto se aplica la configuración de cuatro equipos en fraccionamiento con tres en operación, donde un equipo tendrá capacidad ociosa, lo que también implica que operar con menos de tres equipos significara una pérdida o impacto de un 33% por cada equipo que deje de operar, posteriormente se tiene una correa alimenta al molino de barras y este propiamente tal, dispuesto en serie, lo que la detención de cualquiera de estos implica un impacto del 100%, es decir, detener una sección de la planta de molienda.

Al molino de barra le sigue la molienda de bolas que está compuesta por dos molinos independientes, capaces de soportar por sí solos hasta 170 Tph, aproximadamente un 65% de la capacidad nominal de una sección de molienda. Por lo tanto, se aplica la configuración de fraccionamiento para ambos molinos, cada uno con un impacto del 65%, seguido de los molinos, se encuentran dos bombas centrifugas en configuración Stand-By (una en reserva) y dos hidrociclones. Debido a que estos últimos no tienen una válvula que aislen un ciclón

del otro, la falla de uno solo detiene una sección completa, por lo que una configuración de estos es en serie.

Se puede ver la configuración lógica funcional descrita para la sección 1, 2, 3 y 4 en el diagrama en bloques de confiabilidad mostrada en la figura 3.1.

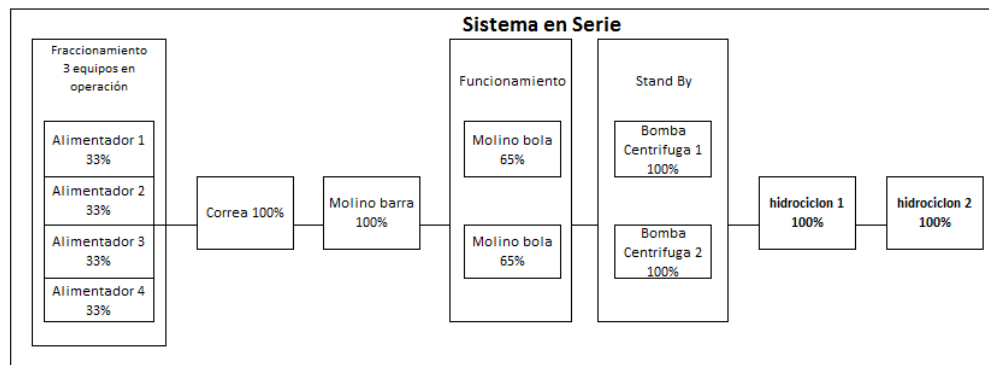


Figura 3 1 Diagrama lógico funcional para cada una de las secciones 1, 2, 3 y 4 de Molienda. Elaboración: Propia.

La configuración lógica de la quinta sección de la planta de molienda barra/bola tiene a la entrada dos alimentadores, capaces cada uno por si solo de mantener el total de la capacidad productiva de la sección, por lo tanto, se aplica la configuración de equipos en paralelo. Posteriormente, se tiene una correa que alimenta al molino de barras, el molino de barras propiamente tal y un molino de bolas, están dispuestos en serie, por lo que la detención de cualquiera de estos implica un impacto del 100%, es decir, detener por completo la quinta sección de la planta de molienda.

Seguido de los molinos, se encuentran dos bombas centrifugas en configuración Stand-by (una en reserva) y cuatro hidrociclones. Los hidrociclones tienen válvulas conmutadoras independientes, por lo que la falla de un hidrociclón implica solo una pérdida gradual de capacidad. Además, se tiene un hidrociclón con capacidad ociosa por lo que se puede trabajar con tres equipos para cumplir con el 100% de disponibilidad de la sección. La representación lógica funcional descrita para la sección 5 se puede apreciar en el diagrama de bloques de confiabilidad mostrada en la figura 3.2.

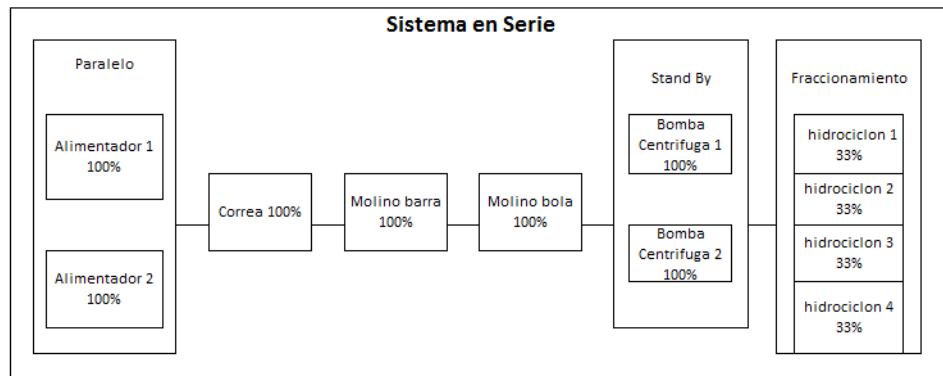


Figura 3.2. Representación lógico funcional de la sección 5 de molienda. Elaboración: Propia.

2. Gestión del mantenimiento

Mantenimiento es el conjunto de actividades que se realizan en un componente, equipo o sistema para asegurar que continúe desempeñando las funciones que se esperaban de él, dentro de un contexto operacional. El objetivo fundamental del mantenimiento es preservar la función y la probabilidad, optimizar rendimiento y aumentar la vida útil de los activos procurando una inversión óptima de los recursos.

Para conocer que costo conviene pagar para lograr una mayor disponibilidad, pensado en el resultado global de mediano o largo plazo, saber el efecto real sobre el sistema de aumentar la confiabilidad de un equipo y determinar si se justifica una mayor disponibilidad de un equipo o sistema pensando en su nivel de utilización y su impacto en el negocio. De acuerdo con lo que se ha planteado como gestión del mantenimiento se propone lo siguiente:

- Conocer la demanda de mantención de los equipos, para determinar hacia donde está enfocado el esfuerzo del personal del departamento de mantención.
- Conocer el costo global del sistema que refleja los recursos invertidos y los costos de la ineficiencia de equipos por no estar disponibles para la producción en un periodo determinado.
- Determinar cuáles son los equipos críticos de la planta, a los que se deben enfocar mayor atención.
- Evaluar costo-beneficio de una mejora en un equipo del sistema.

3. Tipos de mantenimientos

En la planta Concentradora se aplican básicamente cinco tipos de mantenimiento: correctivo, programado, preventivo, rutinario y el predictivo, el cual está en proceso de inclusión como un quinto tipo de mantenimiento aplicado en la empresa desde el año 2018. A continuación, se detallan estos tipos de mantenimiento:

3.1 Mantenimiento correctivo, tipo 1

Es el que se efectúa a los equipos e instalaciones de la planta una vez ocurrida una falla, siempre y cuando afecte la seguridad del personal o provoque pérdidas de producción.

3.2 Mantenimiento programado, tipo 2

Es el que se efectúa a los equipos e instalaciones de la planta una vez detectados parámetros fuera de especificaciones y pueden ser ejecutados en un tiempo determinado.

3.3 Mantenimiento preventivo, tipo 3

Es el que se efectúa a los equipos e instalaciones de la planta sujeto a desgaste con el propósito de darle un periodo de vida útil nuevo.

El problema crucial del mantenimiento preventivo es poder determinar el momento oportuno y conveniente para efectuar el cambio o la reparación del componente. Esto no debe ser muy prematuro ya que no se aprovecha la vida útil del equipo, tampoco debe ser muy tarde porque se debe transformar en una acción correctiva. La determinación de este punto se puede hacer estadísticamente en caso de que el mantenimiento cuente con suficiente información y a través de un sistema de inspecciones continuas, o combinando ambos métodos.

3.4 Mantenimiento rutinario, tipo 4

Es el que aplicado en forma periódica mantiene o alarga la vida útil del equipo e instalaciones de la planta y se divide en cuatro grandes aspectos: inspección, prueba y ajuste, limpieza y lubricación.

3.5 Mantenimiento predictivo, tipo 5

Permite analizar las condiciones operativas del equipo y genera acciones correctivas o preventivas. Se realiza periódicamente de acuerdo con los requerimientos de los equipos.

4. Plan de mantenimiento

Es el conjunto de actividades o trabajo de mantenimiento planeado y rutinario establecidos para verificar la realización de un mantenimiento que garantice la confiabilidad de los equipos para así, lograr aumentar su disponibilidad y su vida útil.

5. Análisis de criticidad

El análisis de criticidad permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante o necesario mejorar la confiabilidad operacional, evaluado en la realidad actual (ARATA, 2009).

Un análisis de criticidad tiene su máxima aplicabilidad cuando se han identificado al menos una de las siguientes necesidades:

- Fijar prioridades en sistemas complejos.
- Administrar recursos escasos.
- Determinar impacto en el negocio.
- Administrar metodologías de confiabilidad operacional.

Un análisis de criticidad aplicado en plantas está orientado a establecer programas de implementación y prioridades, como:

- Mantenimientos.
- Inspecciones.
- Materiales.
- Disponibilidad de la planta.
- Personal.

En el mantenimiento al tener establecido cuales sistemas son más críticos, se podrá establecer una prioridad en los programas y planes de tipo: predictivo, preventivo y

correctivo e inclusive posibles rediseños y modificaciones del sistema o subconjuntos (RENOVETEC, 2015).

La disponibilidad de la planta permite una orientación en la ejecución de proyecto, dado que es el mejor punto de partida para realizar estudios de inversión de capital.

Los valores de criticidad serán ordenados de mayor a menor y serán graficados utilizando gráficos de barras lo cual permite de forma fácil visualizar la distribución descendente de los sistemas evaluados.

La distribución de las barras en gráfico, en la mayoría de los casos, permitirá establecer de forma fácil tres zonas específicas, alta criticidad, mediana criticidad y baja criticidad. Esta información es la que permite orientar la toma de decisiones, focalizando los esfuerzos en la zona de alta criticidad, donde se ubica la oportunidad de aumentar la rentabilidad del negocio.

Las definiciones de cada criterio son:

- Frecuencia de falla: son las veces que falla cualquier componente del sistema.
- Impacto operacional: es el porcentaje de producción que se afecta cuando ocurre la falla.
- Nivel de producción manejado: es la capacidad que se deja de producir cuando ocurre la falla.
- Tiempo promedio para reparar: es el tiempo para reparar la falla.
- Costo de reparación de la falla: costo de la falla más el costo de lo que se deja de producir a consecuencia de la falla.

6. Análisis de modos y efectos de fallas potenciales

El análisis de modos de fallas potenciales es un proceso sistemático para la identificación de las fallas potenciales del diseño de un producto o un proceso antes de que estas ocurran, con el propósito de eliminarlas o de minimizar el riesgo asociado a las mismas. Por lo tanto, se puede considerar como un método analítico estandarizado para detectar y eliminar problemas de forma sistemática y total, cuyos objetivo principal son reconocer y evaluar los modos de fallas potenciales y las causas asociadas con el diseño, determinar los

efectos de las fallas potenciales en el desempeño del sistema, identificar las acciones que podrán eliminar o reducir la oportunidad de que ocurra la falla potencial y analizar la confiabilidad del sistema (ARATA, 2009).

Existen tres alternativas de carga de datos, tasa de falla promedio, tiempo promedio entre fallas o análisis de datos históricos. Las primeras dos alternativas se utilizan en el caso que no se posea un historial de intervenciones del equipo, pero se tiene una estimación de la tasa de falla promedio entre fallas, de todos modos, al definir uno de los valores anteriores el otro queda determinado automáticamente según la siguiente relación:

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

Donde: λ : es la tasa de falla promedio

MTBF: es el tiempo medio entre falla

6.1 Impacto

El porcentaje de impacto (%Im) corresponde al efecto sobre el sistema productivo por la detención de un equipo, por ejemplo, un equipo en configuración en serie tiene un impacto de un 100% sobre el sistema productivo dado que provoca una detención total del sistema (PARRA, 2012).

6.2 Costo de la falla

Indicador que entrega el costo anual asociado por la detención del equipo consideran el impacto que genera en la capacidad del proceso productivo o indisponibilidad de las plantas para producir. La importancia del indicador es que permite identificar equipos críticos, dado que incluye los efectos de indisponibilidad e impacto en la configuración lógica. Se asume que los tiempos muertos de producción son irre recuperables. Se puede determinar indirectamente según :

$$C_F = F - C_v = C_f + u = f * (1 - \%C_v)$$

Dónde: C_F : es costo de la falta anual del sistema

F: es facturación anual del sistema

C_f : es costo fijo anual

C_v : es costo variable anual

u: es unidad anual

%C.v.: es porcentaje de la facturación anual correspondiente al costo variable

Sabiendo el costo anual de un sistema y dividiendo por las horas de operación al año, se puede obtener el costo de la falta de horario del sistema, según:

$$C_i = \frac{C_F}{H_{Op}}$$

Dónde: C_i : es costo de la falta horario del sistema

C_F : es costo de la falta anual del sistema

H_{Op} : es horas de operación anual

7. Indicador de confiabilidad

7.1 Mean Time Between Failure (MTBF)

Se refiere a la aptitud del equipo de funcionar correctamente en las condiciones operativas durante todo su ciclo de vida. Se considera como el tiempo medio de funcionamiento entre dos intervenciones sucesivas de mantención (MOUBRAY, 2004).

$$MTBF = \frac{\text{Horas de operación}}{\text{N}^\circ \text{ de eventos de falla}}$$

8. Indicador de mantenibilidad

8.1 Mean Time To Repair (MTTR)

Se refiere a la aptitud del equipo de ser llevado a la condición de correcto funcionamiento. Se considera como tiempo medio total fuera de servicio, a la suma de tiempos de reparación y de espera (logísticos).

$$MTTR = \frac{\text{Total de horas de reparación}}{\text{N}^\circ \text{ de eventos de falla}}$$

9. Indicador de disponibilidad

Para poder definir el indicador de disponibilidad, es necesario plasmar el significado de ciertos términos usados para denominar los tiempos de funcionamiento

o fuera de servicio de los equipos o sistemas (GRAJALES, 2006). A continuación, se enuncian estos términos:

- Uptime (UT): representa el tiempo en que el sistema está realmente disponible para el funcionamiento.
- Downtime (DT): representa el tiempo fuera de servicio imputable a causas técnicas.
- Tiempo disponible (D): tiempo durante el cual el sistema o equipo estuvo disponible. Luego el indicador queda definido como:

$$D = \frac{\textit{Tiempo real disponible (UT)}}{\textit{Tiempo total (UT + DT)}}$$

10. Indicador de utilización

La utilización total calcula los tiempos asociados a detenciones de tipo operacional y mantenimiento tomando como referencia un periodo de tiempo determinado (PARRA, 2012). Permite tener una visión completa del impacto sobre el proceso de las detenciones de mantenimiento y operacionales. Existe el concepto de utilización efectiva que considera el tiempo de utilización del proceso tomando como base el tiempo disponible para operar, entregando un indicador aislado de la efectividad operacional del proceso estudiado. Además del tiempo utilizado. Teniendo en cuenta esto, el indicador queda definido como sigue:

$$U (\%) = \frac{\textit{Tiempo utilizado}}{\textit{Tiempo disponible}} \times 100\%$$

CAPITULO 4: CONFIABILIDAD DE LA PLANTA DE MOLIENDA

Este capítulo está enfocado en mejorar la confiabilidad aplicada en la planta de molienda concentradora, para esto se ha elaborado un análisis de fallas donde se consideran todos los componentes a modo de poder generar un análisis de disponibilidad e indisponibilidad en estos equipos.

Para determina las fallas potenciales, se obtuvieron datos que fueron evaluados a través de Pareto y Jack-Knife, impactando de gran manera al conjunto motriz de los molinos barra, siendo estos parte de la línea principal de la molienda como se expuso anteriormente.

En el análisis se puede apreciar que la mayoría de modos de fallas con consecuencias en los motores eléctricos, son producto del índice de probabilidad de riesgo atribuido al esfuerzo del motor por mantener un elevado torque al momento de sincronizar con el molino, por esta razón se debe evaluar un plan de mejoramiento en el accionamiento del conjunto motriz.

También se formuló un análisis por partidas fallidas en los motores eléctricos de los molinos barras, donde se evaluaron costos por detenciones no programadas y costo por reparaciones de estos, además se debe considerar la obsolescencia de repuestos por la no fabricación actual de estos equipos.

Un dato relevante a considerar en este trabajo de título, es la proyección de la división El Salvador, que ha realizado exploraciones de extracción de mineral para proyectar su producción por 40 años más de vida, esto nos hace reevaluar un mejoramiento de los equipos y su posterior su mantenimiento.

1. Indicadores de fallas y tiempos para reparar, tiempos promedios para reparar números de fallas para el periodo 2017-2018

En la siguiente tabla 4.1 se describen los indicadores de fallas y tiempos promedio a reparar de los diferentes equipos de la planta.

Tabla 4. 1 Indicadores de fallas y tiempos promedio para reparar. Elaboración: Propia

Nombre	Confiable a 720 horas	Disponibilidad esperada	Costo de la falla US\$	Costo de mantenimiento US\$	MTBF horas	MTTF horas	Etapa en el ciclo de vida
Planta Molienda	0,95%	98,27%	282115,7	2705558,9	149,51	2,63	-
Sección 1	0,06%	97,92%	61200,3	62339,1	94,85	2,02	-
Alimentador de CT 41	96,27%	99,98%	69,7	189,3	6419,49	1,54	-
Alimentador de CT 1	77,88%	99,93%	349,9	1423,3	2880,1	2,14	Vida útil
Alimentador de CT 2	91,03%	99,99%	64	97	2660,6	1,04	Vida útil
Alimentador de CT 3	84,58%	99,97%	151,2	121,2	4299,1	1,38	Vida útil
Alimentador de CT 4	88,23%	99,97%	131,9	251,7	5751,4	1,61	En rodaje
Correa 41	40,22%	99,71%	8374,1	4112,3	1039,9	3,01	En rodaje
Molinos Barra 10	1,19%	98,69%	38097,3	30443,2	141,1	1,88	-
Molinos de Bola	43,40%	99,80%	5706,7	10543,5	935,16	1,84	-
Molinos de Bola 11	34,37%	99,72%	2865,3	6300,6	736	2,08	En rodaje
Molinos de Bola 12	38,51%	99,72%	2841,4	4242,8	888,5	2,49	En rodaje
BBAS Primarias	95,18%	99,92%	2276	12827	5834	4,58	-
BBA Primaria 11	75,94%	99,81%	1304,1	8226,4	2616,5	5	Vida útil
BBA Primaria 12	79,95%	99,86%	971,9	4600,6	3217,5	4,58	Vida útil
Hidrociclón 1	55,67%	99,85%	4336,7	1896,5	1229,2	1,84	Vida útil
Hidrociclón 2	61,22%	99,94%	1712,5	623,4	3403,5	2,01	En rodaje
Sección 2	0,92%	98,62%	40460,1	30209,2	159,52	2,23	-
Alimentador de CT 42	96,98%	99,97%	892,3	2672,6	7171,64	2,2	-
Alimentador de CT 1	87,88%	99,96%	170	184,6	5571,9	1,97	Vida útil
Alimentador de CT 2	92,13%	99,98%	88,6	47,3	8788,8	1,62	Vida útil
Alimentador de CT 3	87,45%	99,96%	198,8	1380,2	5368,1	2,22	Vida útil
Alimentador de CT 4	80,42%	99,91%	434,9	1060,5	3303,4	2,99	Vida útil
Correa 42	26,40%	99,52%	13999	6160,8	583,3	2,82	En rodaje
Molinos Barra 20	12,44%	99,38%	17939,7	11475,1	325,6	2,02	En rodaje
Molinos de Bola	63,62%	99,92%	2212,6	5177,2	2377,08	1,81	-
Molinos de Bola 21	54,87%	99,91%	949,5	3588,3	2047,5	1,91	En rodaje
Molinos de Bola 22	57,59%	99,88%	1263,1	1588,9	2086,5	2,59	En rodaje
BBAS Primarias	93,30%	99,97%	986	1978,8	7935,4	2,69	-
BBA Primaria 21	67,09%	99,94%	303,1	1178,3	4272,1	2,69	En rodaje
BBA Primaria 22	79,64%	99,87%	682,9	800,4	3163,3	4,02	Vida útil
Hidrociclón 1	93,57%	99,97%	805,6	496,6	10832,5	3	Vida útil
Hidrociclón 2	52,06%	99,88%	3625	2248,1	1418,9	1,77	En rodaje
Sección 3	1,45%	98,42%	46416,1	39819,9	179,69	2,89	-
Alimentador de CT 43	97,76%	99,96%	1268,3	1858,7	9360,61	4,09	-
Alimentador de CT 1	90,32%	99,95%	238,6	1116,8	7075,1	3,67	Vida útil
Alimentador de CT 2	95,02%	99,97%	139,6	163,1	14089,2	4	Vida útil
Alimentador de CT 3	84,34%	99,92%	372	368,8	4227,8	3,42	Vida útil
Alimentador de CT 4	85,47%	99,89%	527,1	210,1	4587,2	5,26	Vida útil
Correa 44	42,12%	99,71%	8478,3	3430,4	1179	3,45	En rodaje
Molinos Barra 30	11,09%	99,17%	24070,7	14031,2	300,5	2,51	En rodaje
Molinos de Bola	57,95%	99,74%	7480	8720,8	1959,54	5,06	-
Molinos de Bola 31	64,73%	99,85%	1505,6	2284,2	2558,9	3,79	En rodaje
Molinos de Bola 32	34,82%	99,41%	5974,4	6436,6	713,2	4,21	En rodaje
BBAS Primarias	74,82%	99,91%	2648,7	11180,1	2948,5	2,69	-
BBA Primaria 31	43,71%	99,81%	1208,3	3523,3	1446,7	2,69	En rodaje
BBA Primaria 32	55,27%	99,78%	1440,4	7657	1501,8	3,33	En rodaje
Hidrociclón 1	87,36%	99,96%	1259,2	323,8	5328,4	2,31	Vida útil
Hidrociclón 2	83,82%	99,96%	1210,8	274,6	4078,3	1,7	Vida útil
Sección 4	0,03%	97,73%	66711,1	74319	91,99	2,14	-
Alimentador de CT 1	96,25%	100,00%	7,4	15,2	18845,3	0,5	Vida útil
Alimentador de CT 2	87,04%	99,93%	188,4	312,1	5188	3,5	Vida útil
Alimentador de CT 3	90,50%	99,94%	154,9	37,7	7210,4	4	Vida útil
Alimentador de CT 4	66,48%	99,87%	359,2	449,4	1763,9	2,27	Vida útil
Correa 44	31,60%	99,60%	11697,7	3418,5	678	2,75	En rodaje
Molinos Barra 40	0,63%	98,67%	38373,3	20805	145,2	1,95	Desgaste
Molinos de Bola	31,08%	99,70%	8792,1	14928,1	676,8	2,06	-
Molinos de Bola 41	13,18%	99,45%	5599,3	7727,1	344,4	1,91	En rodaje
Molinos de Bola 42	36,88%	99,69%	3192,8	7201,1	808,3	2,55	En rodaje
BBAS Primarias	70,98%	99,90%	3030,6	32997,8	2834,8	2,97	-
BBA Primaria 41	45,71%	99,78%	1591,6	7604,2	1373,9	3,09	En rodaje
BBA Primaria 42	46,54%	99,80%	1439	25393,6	1460,9	2,97	En rodaje
Hidrociclón 1	90,20%	99,97%	894,5	600,7	7378,6	2,28	Vida útil
Hidrociclón 2	82,81%	99,89%	3213	704,4	2232,6	2,48	Desgaste
Sección 5	1,82%	98,53%	67328,1	63871,7	195,78	2,93	-
Alimentador de CT 45	96,13%	99,95%	2293,7	1240,6	5590,9	2,84	-
Alimentador de CT 45	86,44%	99,94%	755,3	293,5	4941,7	3,21	Vida útil
Correa 45	71,48%	99,87%	1538,5	947,1	2144,9	2,84	Vida útil
Molinos Barra 50	42,10%	99,72%	12506	3101,6	1300,5	3,61	En rodaje
Molinos de Bola	18,11%	99,41%	26863,3	14265,5	426,3	2,55	En rodaje
Molinos de Bola 51	49,08%	99,71%	12972,8	12966,3	1173,7	3,38	En rodaje
BBAS Primarias	68,24%	99,86%	6209,9	21490,2	2041,5	2,81	-
BBA Primaria 51	35,46%	99,69%	3297,1	12649,6	898	2,81	En rodaje
BBA Primaria 52	50,79%	99,72%	2912,8	8840,6	1143,5	3,16	En rodaje
Batería de Hidrociclones	78,95%	99,86%	6482,4	10807,5	2117,37	3,04	-
Hidrociclón 1	65,39%	99,85%	1228,8	1117	1694,8	2,47	Vida útil
Hidrociclón 2	61,68%	99,77%	1984,1	2249,1	1490,2	3,51	Vida útil
Hidrociclón 3	56,27%	99,87%	1117,2	939,2	279,5	3,55	En rodaje
Hidrociclón 4	49,81%	99,75%	2152,4	6502,2	1033	2,64	Vida útil

2. Criterios de evaluación.

En la Tabla 4.2, para el efecto del estudio, la metodología a utilizar será basada en Pareto y Jack-Knife, la cual generará resultados semi-cuantitativos.

Tabla 4. 2 TFS en los equipos que conforman el sistema de molienda. Elaboración: Propia.

	TFS					TFSponderado										Disponibilidad TFS	
	No programada			Programada		No programada			Programada								
	Mantenición Eléctrica	Instrumentación Operacional	Total	Mantenición Eléctrica	Instrumentación Operacional	Total	Mantenición Eléctrica	Instrumentación Operacional	Total	Mantenición Eléctrica	Instrumentación Operacional	Total					
Molienda Primaria	295,8	21,0	43,5	193,2	553,5	9,1	0,0	0,5	7,7	17,3	46,0	5,4	9,9	40,4	101,7	90,15	70,9
Sección 1																	
Correa 41	2,1	0,0	1,0	60,4	63,4	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	0,3	0,0	0,2	10,1	10,6	99,57	3,1
Molino Barras10	8,9	0,2	2,8	42,5	54,4	1,4	0,0	0,0	0,2	1,6	1,5	0,0	0,5	7,1	9,1	97,19	20,2
Molino Bolas 11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,00	0,0
Molino Bolas 12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,00	0,0
Bomba 11	62,1	0,0	0,0	0,0	62,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	91,38	62,1
Bomba 12	14,6	0,0	0,0	0,0	14,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	97,97	14,6
Sección 2																	
Correa 42	0,0	0,0	0,0	2,1	2,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4	99,90	0,7
Molino Barras20	17,9	0,0	0,0	2,6	20,5	5,4	0,0	0,0	0,2	5,6	3,0	0,0	0,0	0,4	3,4	93,02	50,3
Molino Bolas 21	45,3	0,6	0,0	0,0	45,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,8	0,0	0,0	0,0	3,8	93,63	45,9
Molino Bolas 22	2,3	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,2	99,68	2,3
Bomba 21	160,0	0,0	0,0	0,0	160,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	77,78	160,0
Bomba 22	310,5	0,0	0,0	0,0	310,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	56,88	310,5
Sección 3																	
Correa 43	1,8	0,0	0,0	0,8	2,6	0,0	0,0	0,4	0,0	0,4	0,3	0,0	0,0	0,1	0,4	99,45	3,9
Molino Barras30	18,7	0,1	0,0	18,7	37,5	0,0	0,0	0,0	0,9	0,9	3,1	0,0	0,0	3,1	6,3	97,39	18,8
Molino Bolas 31	33,3	1,8	7,9	3,5	46,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8	0,1	0,7	0,3	3,9	94,04	42,9
Molino Bolas 32	0,0	0,0	0,0	1,5	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	100,00	0,0
Bomba 31	417,1	0,0	0,0	0,0	417,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	42,06	417,1
Bomba 32	8,5	0,0	0,0	0,0	8,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	98,82	8,5
Sección 4																	
Correa 44	12,2	0,0	0,1	4,2	16,5	2,3	0,0	0,0	0,0	2,3	2,0	0,0	0,0	0,7	2,8	96,41	25,9
Molino Barras40	11,8	0,0	11,7	4,9	28,3	0,0	0,0	0,0	1,6	1,6	2,0	0,0	2,0	0,8	4,7	96,74	23,4
Molino Bolas 41	67,1	3,6	0,0	0,0	70,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,6	0,3	0,0	0,0	5,9	90,19	70,6
Molino Bolas 42	13,3	0,0	0,0	0,0	13,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	1,1	98,15	13,3
Bomba 41	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,00	0,0
Bomba 42	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,00	0,0
Sección 5																	
Correa 45	0,0	0,0	18,3	13,0	31,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0	4,3	10,3	97,46	18,3
Molino Barras 50	40,1	10,2	0,1	37,4	87,8	0,0	0,0	0,0	4,1	4,1	13,2	3,4	0,0	12,3	29,0	93,00	50,4
Molino Bolas 51	21,1	4,6	1,7	1,4	28,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,0	1,5	0,6	0,5	9,5	96,19	27,5
Bomba 51	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,00	0,0
Bomba 52	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,00	0,0

Se exponen los criterios de evaluación para la elaboración de análisis de Pareto.

Tabla 4. 3 Criterio de evaluación para análisis de Pareto. Elaboración: Propia.

MODO DE FALLA	Frecuencia (1/mes)	TFS total (min/mes)	% TFS	% ACOMULADO	80-20
Motor Mol. Barra N°40 capacidad Termica	16	5325	34%	34%	80%
Contraeje Mol. N°40 falla vibraciones altas.	6	2755	18%	52%	80%
Motor Mol. Barra N°20 temp. Alta RTD	13	1429	9%	61%	80%
Contraeje Mol. N°10 falla caserola de acople.	26	1251	8%	69%	80%
Motor Mol. Barra N°10 falla jam	27	1189	8%	77%	80%
Motor Mol.Barra N°30 capacidad Termica	18	686	4%	81%	80%
Molino Bola N°11 desvalance de fase	6	471	3%	84%	80%
Motor Mol. Bola N°21 Pernos cortados	4	411	3%	87%	80%
Motor Molino Bola N°12 desvalance de fase	2	370	2%	89%	80%
Motor Molino Bola N°42 temp. Alta RTD	1	259	2%	91%	80%
Correa N°41 piloblok con temperatura	2	226	1%	92%	80%
Motor Mol. Bola N°41 capacidad termica	1	226	1%	94%	80%
Completa seccion N°4 falla lubricacion	1	207	1%	95%	80%
Molino Barra N°32 pernos tapa cortado	8	199	1%	96%	80%
Correa N°43 desplazamiento de correa	3	155	1%	97%	80%
contraeje Mol. Barra N°50 falla embregue	6	145	1%	98%	80%
Completa seccion N°5 falla lubricacion	1	109	1%	99%	80%
Molino Bola N°22 perno cortado coraza	3	61	0%	99%	80%
Correa N°42 reductor con vibracion	4	35	0%	100%	80%
Molino N°31 perno cortado tapa de descaga	1	31	0%	100%	80%
Completa seccion N°3 falla delubricacion	1	27	0%	100%	80%
Correa N°44 correa rasgada			0%	100%	80%
Correa N°45 descanso polea cabeza se desplaza			0%	100%	80%
Motor Molino Bola N°51 corona sucia			0%	100%	80%
		15567			

El Pareto muestra las fallas de molienda correspondiente a los resultados de la tabla 4.3 para indicar las zonas que caracterizan el análisis de criticidad.

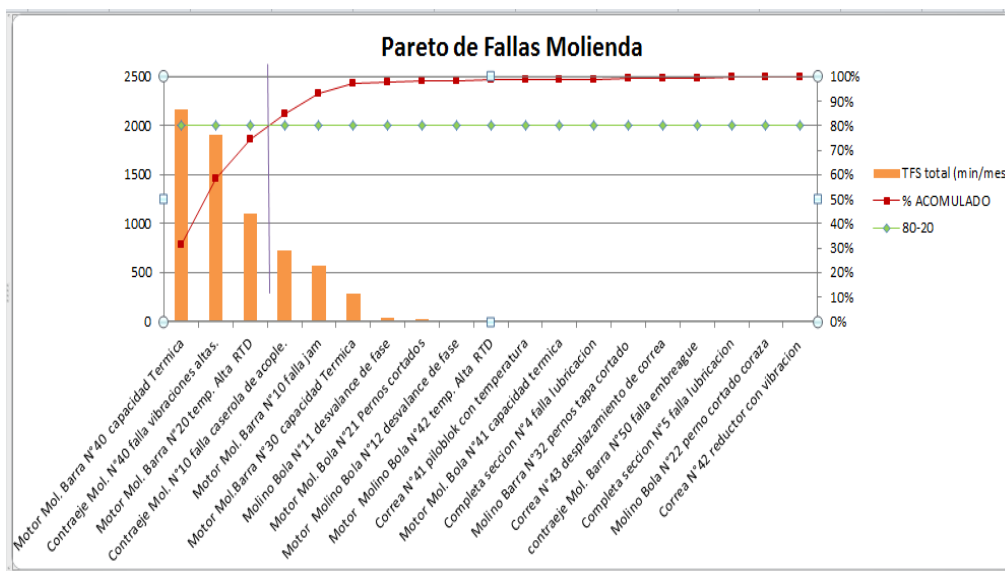


Figura 4. 1 Diagrama de Pareto Sección Molienda. Elaboración: Propia.

Se exponen los criterios de evaluación para la elaboración de análisis Jack-Knife y a continuación se expone el diagrama obtenido para un posterior análisis.

Tabla 4. 4 Criterio de evaluación para análisis de jack- knife. Elaboración: Propia.

MODO DE FALLA	Frecuencia (1/mes)	TFS total (min/mes)	Tiempo por evento (HRS)	FRECUENCIA 1/HRS	INDISPONIBILIDAD F=F*TFS
Motor Mol. Barra N°40 capacidad Termica	16	5325	5,55	0,02	12,3%
Contraeje Mol. N°40 falla vibraciones altas.	6	2755	7,65	0,01	6,4%
Motor Mol. Barra N°20 temp. Alta RTD	13	1429	1,83	0,02	3,3%
Contraeje Mol. N°10 falla caserola de acople.	26	1251	0,80	0,04	2,9%
Motor Mol. Barra N°10 falla jam	27	1189	0,73	0,04	2,8%
Motor Mol. Barra N°30 capacidad Termica	18	686	0,64	0,03	1,6%
Molino Bola N°11 desvalance de fase	6	471	1,31	0,01	1,1%
Motor Mol. Bola N°21 Pernos cortados	4	411	1,71	0,01	1,0%
Motor Molino Bola N°12 desvalance de fase	2	370	3,08	0,00	0,9%
Motor Molino Bola N°42 temp. Alta RTD	1	259	4,32	0,00	0,6%
Correa N°41 piloblok con temperatura	2	226	1,88	0,00	0,5%
Motor Mol. Bola N°41 capacidad termica	1	226	3,77	0,00	0,5%
Completa seccion N°4 falla lubricacion	1	207	3,45	0,00	0,5%
Molino Barra N°32 pernos tapa cortado	8	199	0,41	0,01	0,5%
Correa N°43 desplazamiento de correa	3	155	0,86	0,00	0,4%
contraeje Mol. Barra N°50 falla embreague	6	145	0,40	0,01	0,3%
Completa seccion N°5 falla lubricacion	1	109	1,82	0,00	0,3%
Molino Bola N°22 perno cortado coraza	3	61	0,34	0,00	0,1%
Correa N°42 reductor con vibracion	4	35	0,15	0,01	0,1%
Molino N°31 perno cortado tapa de descaga	1	31	0,52	0,00	0,1%
Completa seccion N°3 falla delubricacion	1	27	0,45	0,00	0,1%
Correa N°44 correa rasgada				0,00	0,0%
Correa N°45 descanso polea cabeza se desplaza				0,00	0,0%
Motor Molino Bola N°51 corona sucia				0,00	0,0%
			1,98	0,01	36,0%

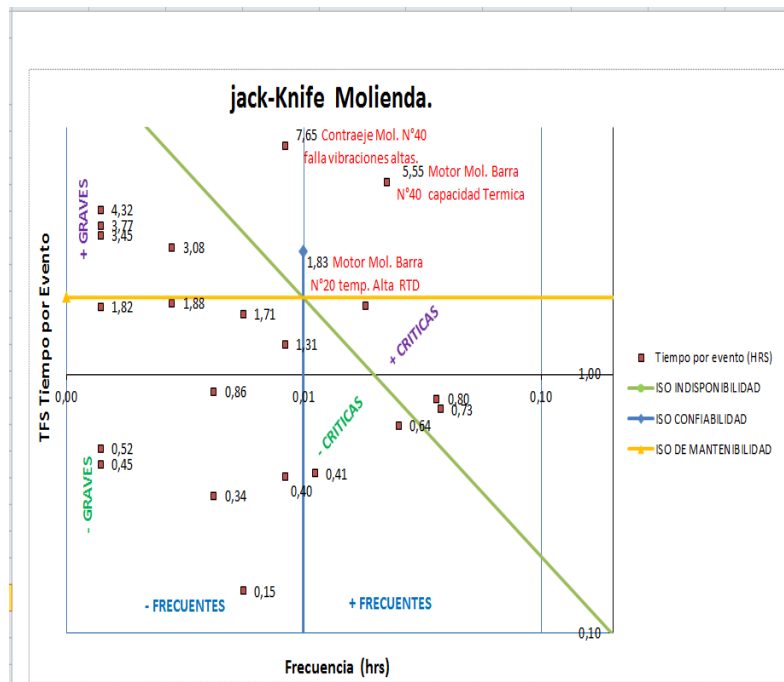


Figura 4. 2 Unidad logarítmica expresada en frecuencia de falla. Elaboración: Propia.

Del diagrama se puede observar que, el tiempo fuera de servicio se ve en unidades logarítmicas, el promedio del tiempo de falla fuera de servicio es el MTTR y que la frecuencia es la tasa de falla.

Las fallas sobre la norma ISO de mantenibilidad están sobre los MTTR promedio, estas son fallas más largas.

La falla sobre la norma ISO de indisponibilidad son fallas críticas y se dan en la región que está en la diagonal, pudiendo ser frecuentes y largas.

En el primer cuadrante las fallas son menos graves, menos frecuentes, por lo tanto, los planes de acción se han hecho efectivos.

En el cuadrante a la derecha de la ISO de confiabilidad, las fallas son más frecuentes y de corta duración, pero se repiten y pueden tener un impacto importante.

3. Demanda de mantención en Planta de Molienda

Si se desea analizar la demanda de mantención ocurrida de los equipos en cada una de las secciones de la planta de molienda, tanto en horas como en números de mantenciones, se puede elaborar diagramas de Pareto, que muestran el foco de atención de los equipos de molienda y la existencia de una posible fallas o brecha a solucionar. De los diagramas elaborados se puede observar que en el 2017-2018, el mayor nivel de atención se centró en los molinos de barras y que las cinco secciones de la planta muestran un patrón similar.

Tabla 4. 5 Criterios de evaluación para la elaboración de análisis de Pareto por sección en el periodo 2017-2018.

Elaboración: Propia

	Fecha	Detención	Área	Mantenimiento	Sistema	Frecuencia de falla (Times)	Detención (Horas/mes)	Horas	Minutos	TFS total (min/mes)
1										
2	01-04-2018	ACOPIDO FINO BAJO.	Operaciones	Utilización	COMPLETA		3:13	3,00	13	133
3	01-04-2018	CORREA-41 DETENIDA POR SOBRECARGA	Eléctrico	No Planificado	Correa 41	1	0:14	0,00	14	14
4	01-04-2018	BAJO FLUJO DE ACEITE DESCANSOS MOLINOS.	Mecánico	No Planificado	COMPLETA	1	0:09	0,00	9	9
5	01-04-2018	BAJO FLUJO DE ACEITE DESCANSOS MOLINOS.	Mecánico	No Planificado	COMPLETA	1	0:18	0,00	18	18
6	01-04-2018	BAJO FLUJO DE ACEITE DESCANSOS MOLINOS.	Mecánico	No Planificado	COMPLETA	1	0:14	0,00	14	14
7	01-04-2018	ACEITE CABEZA BAJO (17:33/17:45) (17:55/18:08) (20:00/20:20)	Mecánico	No Planificado	COMPLETA	1	0:45	0,00	45	45
8	01-04-2018	FALLA PARTIDA MOLINO-11	Eléctrico	No Planificado	MOLINO-11	1	0:10	0,00	10	10
9	02-04-2018	CARGUIO DE BARRAS.	Operaciones	Utilización	MOLINO 10		0:18	0,00	18	18
10	02-04-2018	REVISION INTERIOR MOLINO-10, CON EXCESO DE BARRAS	Operaciones	Utilización	MOLINO 10		0:20	0,00	20	20
11	02-04-2018	BAJO FLUJO ACEITE DESCANSOS MOLINOS.	Mecánico	No Planificado	COMPLETA	1	0:25	0,00	25	25
12	02-04-2018	FALLA SENSOR ATOLLO CHUTE CORREA-41	Instrumentista	No Planificado	Correa 41	1	3:04	3,00	4	184
13	02-04-2018	CALIBRACION PESOMETRO CORREA-41	Instrumentista	Planificado	Correa 41	1	0:51	0,00	51	51
14	02-04-2018	INSPECCION NIVEL DE BARRAS.	Operaciones	Utilización	MOLINO 10		0:07	0,00	7	7
15	02-04-2018	ACEITE CABEZA BAJO	Mecánico	No Planificado	COMPLETA	1	0:18	0,00	18	18
16	02-04-2018	CARGUIO DE BARRAS MOLINO 10.	Operaciones	Utilización	MOLINO 10		0:20	0,00	20	20
17	02-04-2018	REAPRETE DE PERINOS SUELTOS EN TAPA DESCARGA MOLINO 10.	Mecánico	No Planificado	MOLINO 10.	1	0:19	0,00	19	19
18	05-04-2018	SEÑAL ACTIVA CHUTE ALTO CORREA 41.	Operaciones	Utilización	MOLINO 10		0:08	0,00	8	8
19	05-04-2018	ACOPIDO FINO BAJO.	Operaciones	Utilización	COMPLETA		7:33	7,00	33	453
20	05-04-2018	PERINOS SUELTOS CASCO MOLINO 10.	Mecánico	No Planificado	Molino 10	1	0:45	0,00	45	45
21	05-04-2018	BAJO FLUJO ACEITE LUBRICACION DESCANSOS MOLINOS.	Mecánico	No Planificado	COMPLETA	1	0:09	0,00	9	9
22	05-04-2018	CARGUIO BARRAS (NIVEL OPTIMO)	Operaciones	Utilización	MOLINO 10		0:07	0,00	7	7
23	06-04-2018	ACOPIDO FINO BAJO.	Operaciones	Utilización	MOLINO 10		1:47	1,00	47	107
24	07-04-2018	ACOPIDO FINO BAJO.	Operaciones	Utilización	MOLINO 11		2:36	2,00	36	156
25	09-04-2018	BAJO FLUJO DE ACEITE DESCANSOS MOLINOS.	Mecánico	No Planificado	COMPLETA	1	0:09	0,00	9	9
26	09-04-2018	FALTA AGUA POTABLE CONCENTRADORA	Operaciones	Utilización	COMPLETA		2:00	2,00		120
27	09-04-2018	ACOPIDO FINO BAJO.	Operaciones	Utilización	COMPLETA		1:06	1,00	6	66
28	09-04-2018	ACEITE CABEZA BAJO	Mecánico	No Planificado	COMPLETA	1	0:10	0,00	10	10
29	09-04-2018	PERINO CORTADO CASCO MOLINO 10.	Mecánico	No Planificado	Molino 10	1	0:12	0,00	12	12
30	10-04-2018	PERINO CORTADO CASCO MOLINO 10.	Mecánico	No Planificado	Molino 10	1	0:35	0,00	35	35
31	10-04-2018	ACOPIDO FINO BAJO.	Operaciones	Utilización	COMPLETA		10:47	10,00	47	647
32	10-04-2018	BAJO FLUJO DE ACEITE DESCANSOS MOLINOS.	Mecánico	No Planificado	COMPLETA	1	0:18	0,00	18	18
33	10-04-2018	BAJO FLUJO DE ACEITE DESCANSOS MOLINOS.	Mecánico	No Planificado	COMPLETA	1	0:12	0,00	12	12
34	10-04-2018	BAJO FLUJO DE ACEITE DESCANSOS MOLINOS.	Mecánico	No Planificado	COMPLETA	1	0:03	0,00	3	3
35	12-04-2018	BAJO FLUJO DE ACEITE DESCANSOS MOLINOS.	Mecánico	No Planificado	COMPLETA	1	0:19	0,00	19	19
36	12-04-2018	BAJO FLUJO DE ACEITE DESCANSOS MOLINOS.	Mecánico	No Planificado	COMPLETA	1	0:07	0,00	7	7
37	12-04-2018	BAJO FLUJO DE ACEITE DESCANSOS MOLINOS.	Mecánico	No Planificado	COMPLETA	1	0:07	0,00	7	7
38	12-04-2018	FALLA EN PARTIDA MOLINO 10, QUEDA CON TRIP.	Eléctrico	No Planificado	Molino 10	1	0:21	0,00	21	21
39	12-04-2018	BAJO FLUJO DE ACEITE DESCANSOS MOLINOS.	Mecánico	No Planificado	COMPLETA	1	0:05	0,00	5	5
40	12-04-2018	BAJO FLUJO DE ACEITE DESCANSOS MOLINOS.	Mecánico	No Planificado	COMPLETA	1	1:31	1,00	31	91
41	12-04-2018	CORAZAS CAIDAS.	Mecánico	No Planificado	COMPLETA	1	12:24	12,00	24	744
42	12-04-2018	BAJO FLUJO DE ACEITE DESCANSOS MOLINOS.	Mecánico	No Planificado	COMPLETA	1	0:14	0,00	14	14
43	12-04-2018	BAJO FLUJO DE ACEITE DESCANSOS MOLINOS. SE RETIRAN FILTROS DE	Mecánico	No Planificado	COMPLETA	1	0:17	0,00	17	17

Priorización de fallas en molinos bajo análisis de pareto año 2017-2018

i	Modos de falla	TFS total (hrs/mes)	% TFS	% ACOMULADO	80-20
14	FALLA ELECTRICA PARTIDA MOL.20	8,6	32,7%	33%	80%
4	FALLA ELECTRICA PARTIDA MOL.10	6,0	22,8%	56%	80%
1	FALLA ELECTRICA PARTIDA MOL.12	4,7	17,9%	73%	80%
5	FALLA ELECTRICA PARTIDA MOL.30	4,0	15,2%	89%	80%
3	FALLA ELECTRICA EN PARTIDA MOL.21	2,7	10,2%	99%	80%
1	FALLA ELECTRICA PARTIDA MOL.11	0,3	1,1%	100%	80%
total (hrs/mes)		26,3			

i	Modos de falla	TFS total (hrs/mes)	% TFS	% ACOMULADO	80-20
31	ALTA TEMPERATURA MOLINO-22.	71	75,6%	76%	80%
15	TEMP.ALTA MOTOR MOL.20.	7,2	7,7%	83%	80%
5	ALTA T° MOTOR MOLINO 21.	4,9	5,2%	88%	80%
6	FALLA PARTIDA MOL.30	3,7	3,9%	92%	80%
2	FALLA ELECTRICA EN PART.MOL.11	3,3	3,5%	96%	80%
3	FALLA ELECTRICA EN PARTIDA MOL.32	2,1	2,2%	98%	80%
3	SE DETIENE SIN SEÑAL, MOL.10	1,1	1,2%	99%	80%
2	SE DETIENE SIN SEÑAL MOL.40.	0,6	0,6%	100%	80%
total (hrs/mes)		93,9			

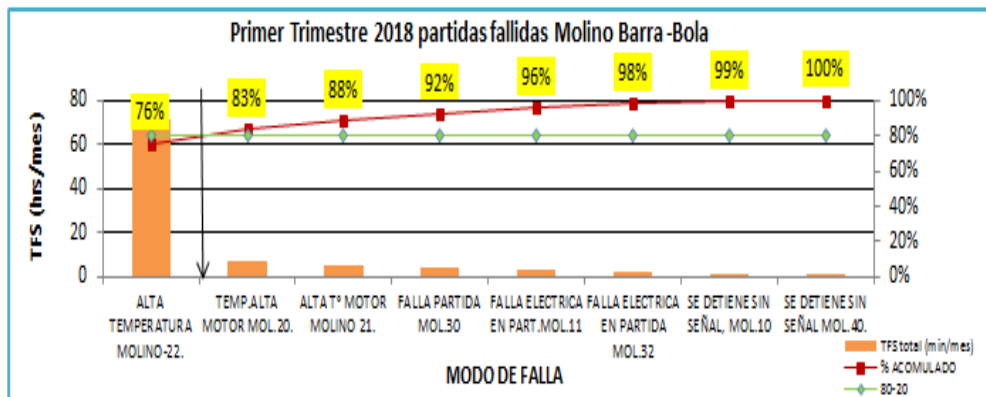
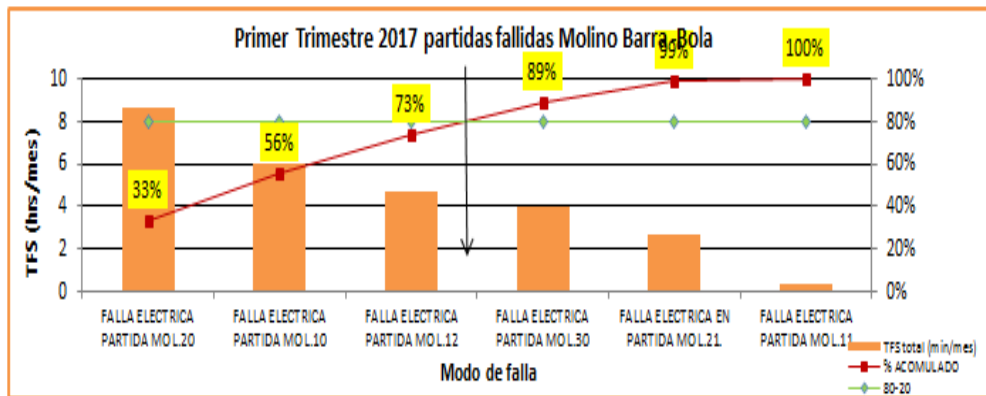


Figura 4. 3 Diagrama de Pareto primer trimestre, periodo 2017- 2018. Elaboración: Propia

i	Modos de falla	TFS total (hrs/mes)	% TFS	% ACOMULADO	80-20
20	FALLA ELECT. PART.TEMP.MOTOR MOL.10	43,2	72,1%	72%	80%
3	CAPAC.TERMICA MOL.11	8,2	13,7%	86%	80%
6	CAPAC.TERMICA MOL.30.	6,0	10,0%	96%	80%
3	SE DETIENE SIN SEÑAL MOL.12	0,8	1,3%	97%	80%
2	TRIP MOL.20	0,8	1,3%	98%	80%
2	AISLANDO MOL.40	0,6	1,0%	99%	80%
1	FALLA ELECT.PART. MO.42	0,3	0,5%	100%	80%
total (hrs/mes)		59,9			

i	Modos de falla	TFS total (hrs/mes)	% TFS	% ACOMULADO	80-20
17	FALLA ELECTRICA EN PARTIDA 40.	38,5	42,1%	42%	80%
18	CAPACIDAD TERMICA MOLINO 30.	16,6	18,1%	60%	80%
16	SE DETIENE POR TRIP DE ACELERACION MOL.11	20,2	22,1%	82%	80%
9	FALLA EN PARTIDA MOL.10	4,3	4,7%	87%	80%
3	FALLA EN PARTIDA MOLINO 20, QUEDA CON TRIP.	0,9	1,0%	88%	80%
6	FALLA ELECTRICA EN PARTIDA. MOL.21	8,4	9,2%	97%	80%
1	MOTOR AISLADO MOL.12	2,1	2,3%	99%	80%
2	ESPERANDO HABILITADO ELECTRICO 42	0,6	0,6%	100%	80%
total (hrs/mes)		91,6			

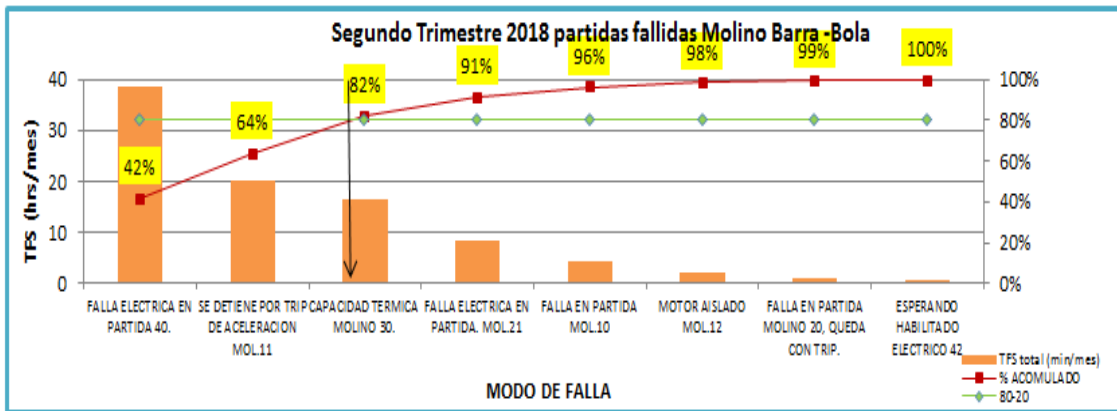
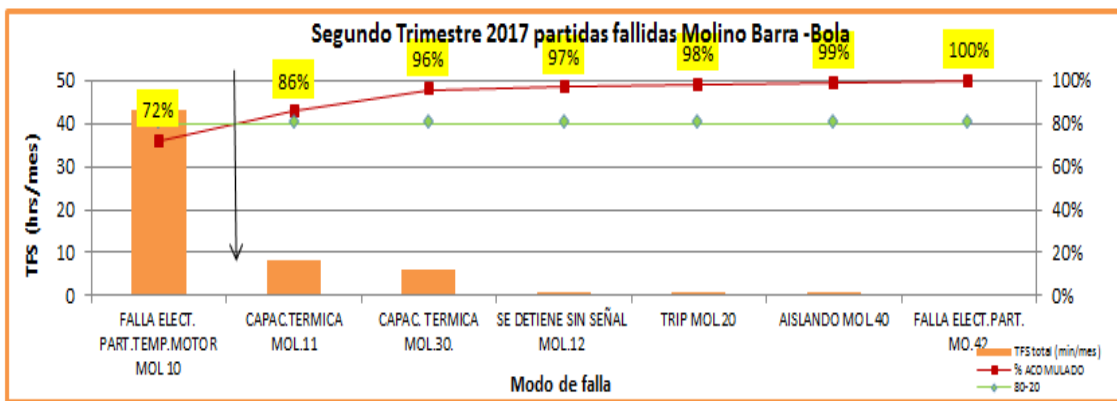


Figura 4. 4 Diagrama de Pareto segundo trimestre, periodo 2017- 2018 Elaboración: Propia

i	Modos de falla	TFS total (hrs/mes)	% TFS	% ACOMULADO	80-20
13	TEMP.ALTA MOTOR MOL.21	25,6	34,4%	34%	80%
7	ALTA T° MOTOR MOLINO 31.	20,5	27,6%	62%	80%
3	ALTA TEMP. EN MOTOR, MOL.22	7,8	10,5%	72%	80%
2	FALLA PARTIDA MOLINO 41.	5,8	7,8%	80%	80%
3	FALLA ELECTRICA PARTIDA MOLINO-40	4,3	5,8%	86%	80%
9	FALLA EN PART.MOL.20	4,3	5,8%	92%	80%
5	FALLA ELECT. PARTIDA ALTA TEMP.MOTOR MOL.10	3,4	4,6%	96%	80%
4	SE DETIENE SIN SEÑAL, MOL.30	2,0	2,7%	99%	80%
1	MOL.32 MOTOR DESHABILITADO.	0,5	0,7%	100%	80%
1	MOTOR MOL.42 DESHABILITADO	0,2	0,3%	100%	80%
total (hrs/mes)		74,4			

i	Modos de falla	TFS total (hrs/me)	% TFS	% ACOMULADO	80-20
10	FALLA EN PARTIDA MOLINO 40.	31,8	28,8%	29%	80%
23	FALLA EN PARTIDA MOLINO 30.	31,2	28,3%	57%	80%
9	FALLA EN PARTIDA MOL.32	11,5	10,4%	68%	80%
7	FALLA ELECTRICA EN PARTIDA MOL.11	10,2	9,2%	77%	80%
5	FALLA PARTIDA MOL.21	9,2	8,3%	85%	80%
9	TEMPERATURA ALTA MOTOR MOL.20	5,4	4,9%	90%	80%
3	FALLA PARTIDA MOLINO 10	4,5	4,1%	94%	80%
3	ALTA TEMPERATURA EN RTD MOTOR. MOL-22	3,3	3,0%	97%	80%
3	FALLA ELECTRICA MOL.42	1,5	1,4%	98%	80%
1	FALLA EN PARTIDA MOLINO 31.	1,2	1,1%	99%	80%
2	FALLA PARTIDA MOLINO-41	0,6	0,5%	100%	80%
total (hrs/mes)		110,3			

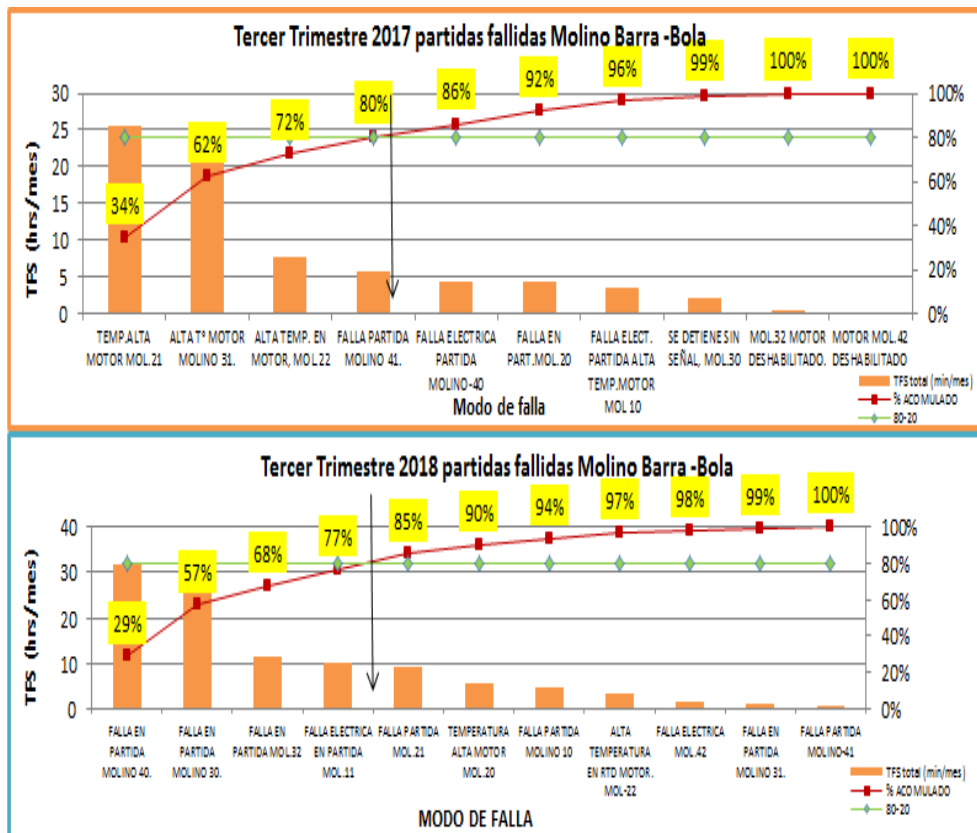


Figura 4. 5 Diagrama de Pareto tercer trimestre, periodo 2017- 2018. Elaboración: Propia

i	Modos de falla	TFS total (min/mes)	% TFS	% ACOMULADO	% 80-20
6	FALLA PARTIDA MOL.11, (TRIP DE ACELERACION	37,3	32,6%	33%	80%
21	ALTA TEMP. EN MOTOR MOL.22	28,8	25,1%	58%	80%
16	ALTA TEMP. EN MOTOR MOL.21	28,1	24,5%	82%	80%
18	FALLA EN PARTIDA MOL.30	13,1	11,4%	94%	80%
4	TRIP POR ALTA TEMP. MOTOR MOL.12	3,2	2,8%	96%	80%
5	FALLA ELECT. PART. MOL.20	1,9	1,7%	98%	80%
4	FALLA EN PARTIDA MOL.10	1,2	1,1%	99%	80%
2	FALLA EN PART. MOTOR ELECT. MOL.32	0,5	0,4%	100%	80%
1	ESPERANDO ELECTRICOS MOL.42	0,3	0,3%	100%	80%
1	SE DETIENE SIN SEÑAL MOL.40.	0,1	0,1%	100%	80%
total trimestral (hrs/mes)		114,6			

i	Modos de falla	TFS total (min/mes)	% TFS	% ACOMULADO	% 80-20
6	TEMPERATURA ALTA MOTOR MOL.22	12,3	44,0%	44%	80%
12	FALLA EN LA PARTIDA MOL.30	9,6	34,4%	78%	80%
2	ALTA CAPACIDAD TERMICA MOLINO-10	4,3	15,3%	94%	80%
4	FALLA ELECTRICA EN PARTIDA MOLINO 20.	1,3	4,7%	98%	80%
1	F/S MOLINO-42 POR FALLA ELECTRICA.	0,5	1,6%	100%	80%
total trimestral (hrs/mes)		27,9			

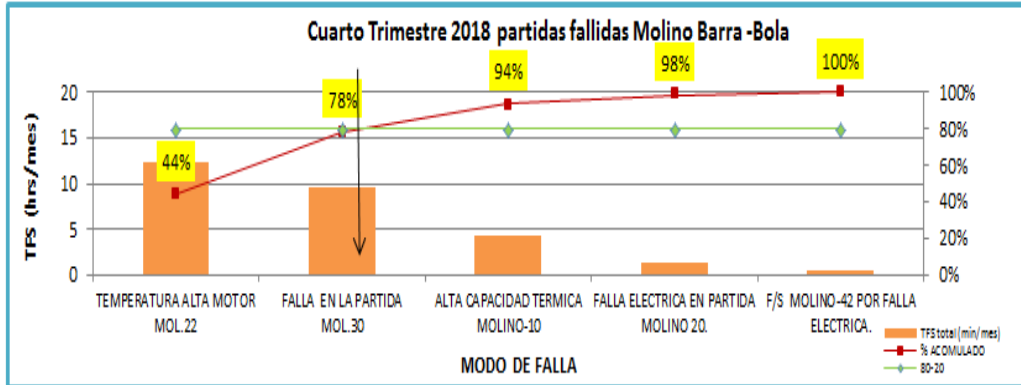
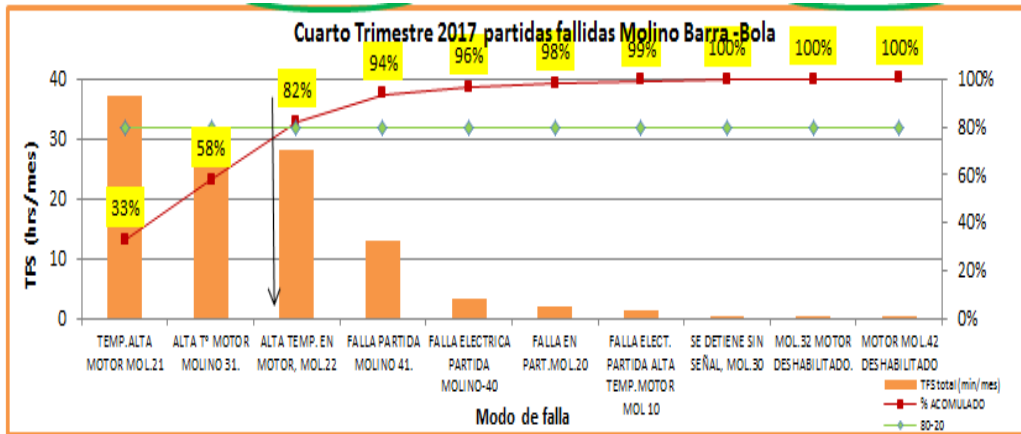


Figura 4. 6 Diagrama de Pareto cuarto trimestre, periodo 2017- 2018. Elaboración: Propia

4. Resultado del análisis de criticidad

4.1 Identificación de funciones y fallas

Una vez que el objetivo del análisis ha sido establecido, el siguiente paso en el proceso es identificar funciones, una función es el propósito para cual fue diseñado o seleccionado un proceso que está bajo el análisis, también son identificados, los modos de fallas o las categorías.

Los modos de fallas se categorizan según las siguientes posibilidades:

- Falla total.
- Falla parcial.
- Falla Intermitente.

De acuerdo con el resultado del análisis de Pareto y Jack Knife, aplicado a los equipos de mayor criticidad, se denota un fuerte impacto por las detenciones en el molino de barra y se tienen las siguientes posibilidades:

- No arranca.
- Arrancan erráticamente.
- Falla por sobre exigencia o sobre carga del equipo.
- Arrancan, pero se detienen después de un tiempo fusionando.

Las causas de fallas con mayor riesgo, a las cuales se les debe prestar mayor atención desde el punto de vista de mantenimiento rutinario y planes de mantenimiento preventivo en general, con la finalidad de minimizar estos modos de falla potenciales que arroja el análisis de Pareto y Jack-Knife de la figura 11-12, en esta se pueden apreciar que la mayoría de modos de fallas con consecuencias en los motores eléctricos y que son producto del índice de probabilidad de riesgo atribuido al esfuerzo del motor por mantener un elevado torque al tener partida directa y un sistema de transmisión con eje flotante conectado a un piñón corona dañada, en la mayoría de los casos su deterioro ocurre por deficiente lubricación, solturas, desalineación, corona contaminada, corte de pernos que soportan las

corazas, dientes desgastados en la raíz, backlash entre piñón y corona deficiente, se hace necesario ejecutar un plan de mantenimiento rutinario acentuado en el sistema, verificación periódica de este sistema, todo esto impacta en mayor grado el accionamiento de los motores en molinos de barra principalmente. Además se puede exponer que la vida de un motor eléctrico está relacionada directamente con la vida de su aislamiento, y la vida de su aislamiento depende de la temperatura, la vibración y la humedad predominantes dentro del tiempo de vida del equipo y las horas que ha operado, el motor eléctrico al partir con un torque alto y una corriente elevada, incrementa la probabilidad de cortocircuito por el aumento de temperatura y esto provoca un deterioro en su enrollado (bobinado), este aumento de temperatura es directamente proporcional al aumento de la corriente y que posteriormente se transforman en una falla.

El índice de probabilidad de riesgo asociados a los soportes del eje de accionamiento, por daños de rodamientos deformación de los cojinetes o dientes del piñón corona desgastado o fisurados, como consecuencia de la pésima mantenibilidad en estos equipos, el piñón corona actualmente al estar sometido a desgaste, disminuye progresivamente su eficiencia, es necesario rediseñar un sistema de soportes, por uno más eficiente que se adapte a las condiciones del medio y requerimientos actuales del conjunto motriz.

5. Evaluación de condición para motores eléctricos de potencia 497KW 60Hz utilizados en molinos de barras.

A continuación, se presenta un análisis de costo de reparación por partidas fallidas, y eficiencia en motores de molinos de barras actualmente usados en molienda en DSAL.



Figura 4. 7 Motores de molinos de barras de 497kw, 4.000 Voltios, 60Hz año de construcción 1957. Elaboración: Propia

6. Costo asociado a reparación por fallas en motores por partidas sucesivas en Molinos de barra.

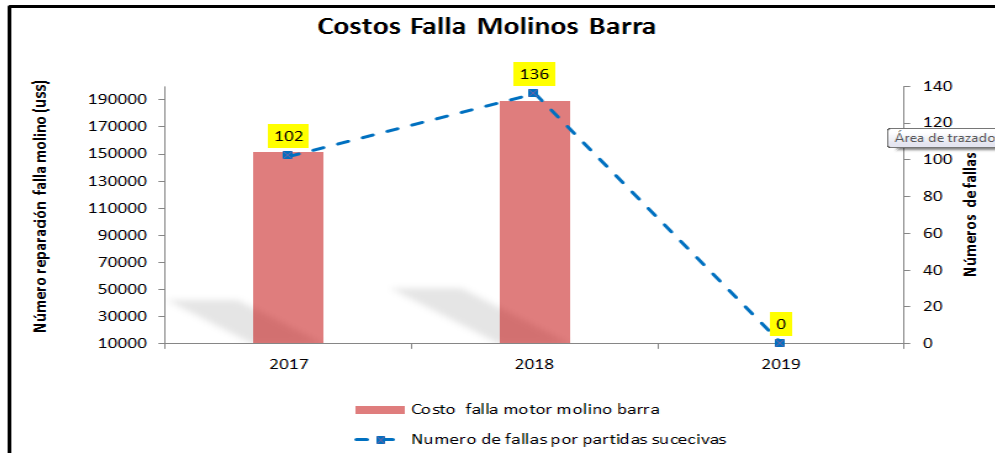


Figura 4. 8 Análisis de costo por fallas, periodo 2017- 2018. Elaboración: Propia

Como se puede observar en la figura 4.8 los costos asociados a fallas de motores son:

- Costos por falla de motores de 800 hp Barra 2017: 4 fallas, US\$ 127.284.
- Costos por fallas de motores de 800hp Barra 2018: 5 fallas, US\$ 159.105.

Datos de evaluación por eficiencia de equipos motor accionamiento directo versus motor con accionamiento con embreague:

Datos de motores		Valor		
Potencia Nominal Barra (kW)		500		
Potencia Nominal Bola (kW)		777		
Tiempo de sincronismo (s)		10		
Potencia de sincronismo sin embrague (nxPn)		9		
Potencia de sincronismo con embrague (nxPn)		3		
Consumo de energía partida barra sin embrague (kWh)		12,5		
Consumo de energía partida barra con embrague (kWh)		4,2		
Consumo de energía partida bola sin embrague (kWh)		19,4		
Consumo de energía partida bola con embrague (kWh)		6,5		
Datos de energía		2017	2018	Total
Precio energía (US\$/MWh)		101,8	108,2	210,0
Cantidad de partidas fallidas barras		102	136	238
Cantidad de partidas programadas carguío de barras		624	624	1.248
Consumo energía caso base (sin embrague) (kWh)		37.280	39.026	76.306
Consumo energía caso 1 (barra con embrague) (kWh)		31.230	32.693	63.923
Consumo energía caso 2 (barra y bola con embrague) (kWh)		12.427	13.009	25.435
Gasto en energía caso base (US\$)		3.795	4.222	8.017
Gasto en energía caso 1 (US\$)		3.179	3.537	6.716
Gasto en energía caso 2 (US\$)		1.265	1.407	2.672
Cuantificación del ahorro		2017	2018	Total
Ahorro Caso 1 (US\$)		616	685	1.301
Ahorro Caso 2 (US\$)		2.530	2.815	5.345

Notas:

- Se consideró que cada partida de un molino de barras, significó una partida de 2 molinos de bolas
- Sólo se consideraron las partidas fallidas de los molinos de barras
- Se consideraron 3 partidas programadas por semana, por cada sección, para carguío de barras

Figura 4. 9 Evaluación de consumo de energía. Elaboración: Propia

7. Impacto asociado a la producción por detenciones en molinos de barra.

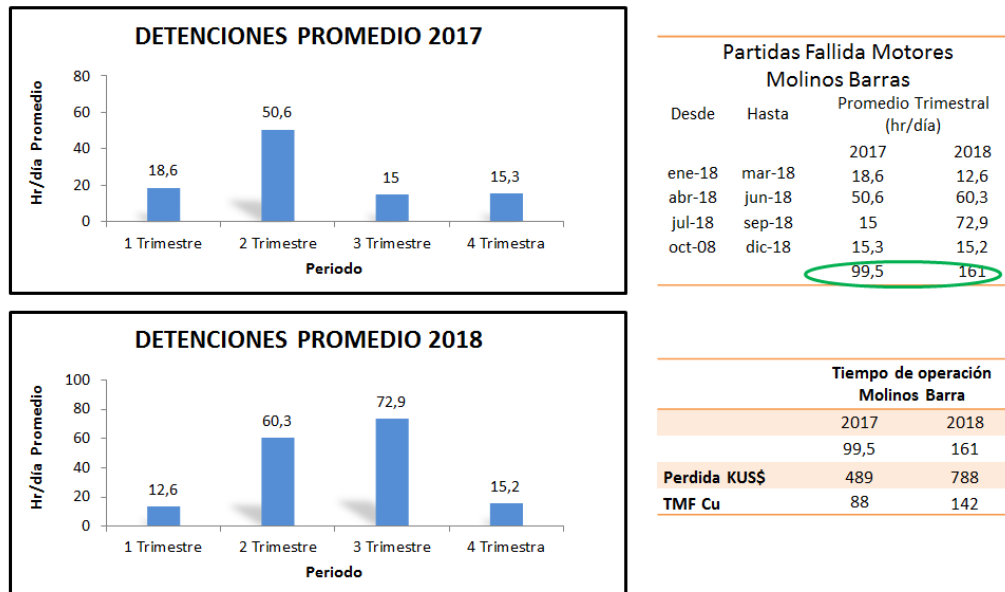


Figura 4. 10 Promedio de detención por fallas, periodo 2017- 2018. Elaboración: Propia

Como se puede ver en los gráficos, cada hora de detención de un motor del circuito de molienda equivale a un 18% de la producción horaria en molinos de Barras.

7.1 Resumen financiero de evaluación por partidas fallidas

- 286.389 USD es el costo de reparación promedio de motores de 497 KW, considerando que se reparó 9 Motores entre 2017-2018, cuyo valor de reparación por motor de 31.821 USD.
- 1.277 KUS es la pérdida operacional asociada a las TMF Cu no producidas por partidas fallidas en motores de 497 KW.
- 8.017 USD de diferencia en costo de energía por partidas fallidas en motores de 497 KW (2017-2018), costo no es gravitante.

CAPITULO 5: EVALUACIÓN DE REDISEÑO DE SOPORTE DE EJE DE ACCIONAMIENTO DE LOS MOLINOS DE BARRAS Y EVALUACIÓN DE SUSTITUCIÓN DE MOTOR ELÉCTRICO DE 497KW

1. Sustitución de motor

En estos equipos la ocurrencia de las fallas implica altos costos de mantenimiento, reparación y pérdida de producción, se realiza un resumen de costo y consumo anual de energía de motores en molinos de barras.

Se compara un escenario de producción actual, esto es, 250 ton/año v/s producción proyectada 260 ton/año. Además, se evalúa el ahorro de energía al tener motores con mayor potencia y eficiencia. Las características técnicas (data sheet) del motor 597kw proyectado se pueden encontrar en la sección. Anexos.

En la tabla 5.1, se realiza una evaluación de la eficiencia energética para la situación actual y para 3 propuestas de inversión, esto es, motor Elliott, WEG, GE y Toshiba. De acuerdo a la evaluación, se obtiene que la mejor propuesta corresponde a la propuesta 1, es decir, el motor WEG. Lo anterior, se debe a que con esta propuesta se genera el mayor ahorro unitario equivalente a 140.545 US. El ahorro se debe a que el motor WEG tiene un gasto energético menor el cual se ilustra en la figura 5.1

Tabla 5. 1 Comparación por diferencia de consumo en motores eléctricos Elaboración: Propia

Parámetros	Unidad	Situación Actual	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3
		Motor Elliott/680 Hp/50Hz	Motor WEG/800 Hp/50Hz	Motor GE/800 Hp/50Hz	Motor Tosh/800 Hp/50Hz
Potencia Salida	Hp	667	800	800	800
Potencia Salida	kW	597	597	597	597
Potencia Entrada	kW	746	639	642	649
Factor de potencia	Fp	0.80	0.80	0.8	0.8
Tensión Nominal	V	3.600	3.600	3.600	3.600
Corriente Nominal	Amp	115,2	128,1	128,6	129,4
Eficiencia a máxima carga %	%	0,80	0,934	0,93	0,92
Frecuencia	Hz	50	50	50	50
Rotación Nominal	Rpm	187,5	187,5	187,5	187,5
Producción actual	ton/año	1.971.000	-	-	-
Producción Proyectada	ton/año	2.049.840	2.049.840	2.049.840	2.049.840
Horas de operación anual	Hr	7884	7884	7884	7884
Energía Consumida	Kwh	5.883.435	5.037.657	5.059.324	5.114.317
Indicador Eficiencia Energética	Kwh/ton	2,99	2,46	2,47	2,49
Precio Energía	US\$/kWh	0,13	0,13	0,13	0,13
Gasto en energía	US\$	795.440	654.895	657.712	664.861

Comparación de escenarios

- Consumo situación actual respecto a propuesta 1
- Consumo situación actual respecto a propuesta 2
- Consumo situación actual respecto a propuesta 3

Ahorro [US\$] unitario

140.545	
137.728	
130.579	

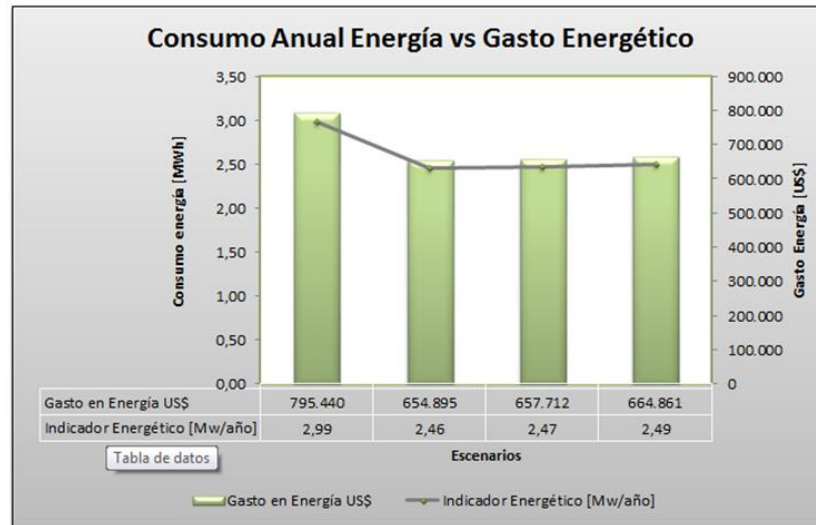


Figura 5. 1 Diagrama de Pareto Sección Molienda. Elaboración: Propia

1.1 Evaluación CAPEX inversión y análisis de cambio de motor Síncrono 497KW

En la tabla 5.2, se muestra la evaluación realizada para la inversión en los motores eléctricos WEG para un horizonte de largo plazo. La tabla refleja que luego de realizada la inversión, esta se recupera en un plazo de 13 años.

Tabla 5. 2 Evaluación de inversión en motores eléctricos. Elaboración: Propia

Calculo 1 motor Weg				
Año	Ahorro Energía (kWh/año)	Ahorro Energía (MWh/año)	Costo Suministro (US\$/MWh)	Costo Anual(US\$/año)
VAC EE				\$ 949.217
0	845.778	846	68,4	57.851
1	845.778	846	69,9	59.120
2	845.778	846	64,4	54.468
3	845.778	846	63,6	53.791
4	845.778	846	85,6	72.399
5	845.778	846	85,6	72.399
6	845.778	846	85,6	72.399
7	845.778	846	85,6	72.399
8	845.778	846	85,6	72.399
9	845.778	846	85,6	72.399
10	845.778	846	85,6	72.399
11	845.778	846	85,6	72.399
12	845.778	846	85,6	72.399
13	845.778	846	85,6	72.399
14	845.778	846	85,6	72.399
15	845.778	846	85,6	72.399
16	845.778	846	85,6	72.399
17	845.778	846	85,6	72.399
18	845.778	846	85,6	72.399
19	845.778	846	85,6	72.399
20	845.778	846	85,6	72.399
21	845.778	846	85,6	72.399

1.2 Evaluación OPEX de inversión por cambio de motor Síncrono 497KW

Si se considera el aumento de la potencia del motor en molinos de Barras de 497KW actual v/s 597KW proyectado, se obtendrá un ingreso de 1429 kUSD de acuerdo a lo estipulado en la figura 5.2.

Hoja de Calculo	Un		Jun
Tratamiento (P0)	ton		78.840
Ley alimentación	%		0,49
Recuperación Cu adicional	%		71,00
TMF Cu	ton		274
Deducción Mrtalurgica Fure			5,7
Cobre Pagable			258
Precio Venta			251
Ingresos		KUSD	1429

Figura 5. 2 Evaluación de inversión por aumento de potencia en motor. Elaboración: Propia

2. Rediseño del soporte eje piñón

Uno de los problemas que arrojó el análisis son las detenciones por partidas directas del motor síncrono 497KW, basados en resultados anteriores se realiza el rediseño del eje de accionamiento de los molinos. Se realizó una visita al área donde se observó que uno de los aspectos importantes en el rediseño es la distancia del centro del eje base que es el soporte del motor a los cojinetes actualmente utilizados, esta distancia corresponde a 270 cm como se identifica en la Figura 5.3.



Figura 5. 3 Vista lateral eje de accionamiento.

Elaboración: Propia

Para el planteamiento del rediseño, se hizo una reunión con el personal del área donde se planteó la necesidad de sustituir el sistema de eje de accionamientos por un embrague montado sobre un soporte de cardan que pivotee su eje. Esto debido a varias ventajas entre las cuales se encuentran la reducción de fallas por picos de torque de potencia del sistemas actual en motores de alto par de torsión de impulso directo, que son de 7 a 10 veces su corriente, esto con referencia al sistema que podríamos utilizar con embragues con par de torsión normal donde la potencia modulada seria de 2 a 4 veces la corriente en la partida. Ver figura 5.4 – 5.5

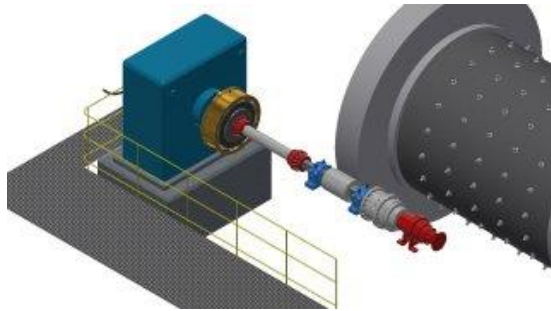


Figura 5. 4 Vista superior eje de accionamiento.
Elaboración: Propia

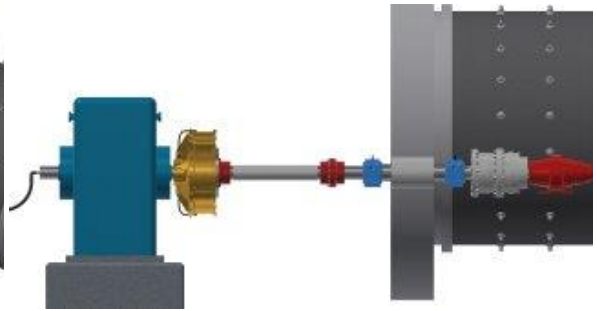


Figura 5. 5 Vista lateral eje de accionamiento. Elaboración:
Propia

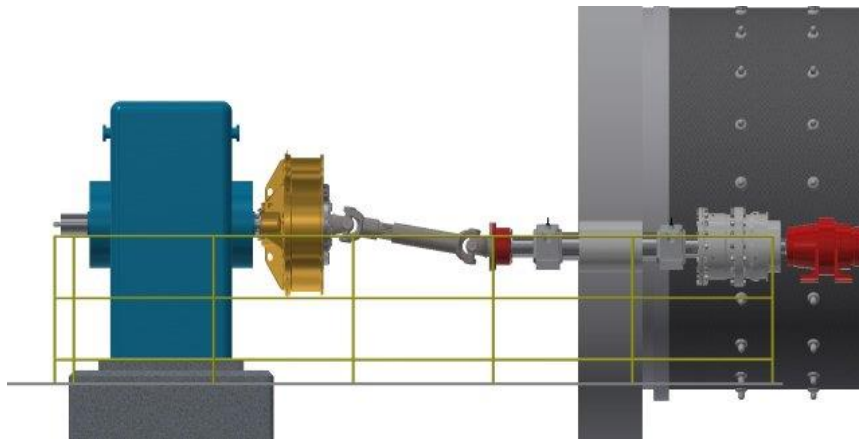


Figura 5. 6 Vista lateral eje de accionamiento. Elaboración: Propia

Con los datos definidos se realizó cotización a la empresa SCEM la cual oferto el embrague montado sobre un soporte de cardan que pivotee su eje. La cotización del soporte con embrague se muestra en los Anexos, pagina 59.

CAPITULO 6: FORMULACION DE LOS PLANES DE MANTENIMIENTO RUTINARIO

La elaboración del plan de mantenimiento rutinario se basó en la clasificación de los equipos según la criticidad de cada uno de los equipos del sub sistema molino de barra y en función del índice de prioridad de riesgo analizado.

Las actividades del mantenimiento rutinario podrán ser aplicadas a cualquier sistema o subsistema de equipos pertenecientes al grupo, las frecuencias para cada actividad se denominaron mediante la experiencia por la antigüedad de la planta de molienda y las recomendaciones del fabricante de los equipos y parte.

MANTENIMIENTO RUTINARIO PARA MOTORES ELÉCTRICOS.

La tabla 6.1. Se muestra el conjunto de actividades y la frecuencia de mantenimiento rutinario a aplicar a los motores eléctricos.

Tabla 6. 1 Mantenimiento rutinario inspección correspondiente a motores eléctricos. Elaboración: Propia

Frecuencia	Actividad a realizar
Diariamente	Chequear temperaturas y ruidos en motor.
Mensualmente	Sala eléctrica CCM, Verificar fusibles de control, relé térmico, contactores , parámetros de Multilin y SPM.
	Limpiar ventilación y carcasa motor.
	Inspeccionar niveles de aceite.
Trimestralmente	Limpiar y ajustar excitatriz del campo, escobillas y resistencias.
	limpiar y medir parámetros de interruptor de potencia de media tensión.
	Realizar cambio de aceite.

MANTENIMIENTO RUTINARIO PARA SOPORTES DEL EJE DE ACCIONAMIENTO

La tabla 6.2. Se muestra el conjunto de las actividades y la frecuencia de mantenimiento rutinario a aplicar a los soportes del eje de accionamiento.

Tabla 6. 2 Mantenimiento rutinario inspección correspondiente a motores eléctricos. Elaboración: Propia

Frecuencia	Actividad a realizar
Diariamente	Inspeccionar estados de componentes del circuito de aire del embrague EATON AIRFLEX DUAL
	Inspeccionar estados de manómetros por paso de aire para embrague (100 PSI)
Mensualmente	Inspeccionar y regular el tiempo que demora en acoplar embrague (4 -7 segundo)
	Inspeccionar desgaste de balatas (espesor 17.5mm máximo, 9,5mm mínimo.) lado motor, lado piñón
	Medir temperatura en ambos descansos del eje piñón
Trimestralmente	Inspeccionar desgaste de tambor de embrague (diámetro 1168 mm máximo, 1162 mm mínimo.)

MANTENIMIENTO RUTINARIO PARA EL SISTEMA PIÑÓN CORONA

La tabla 6.3. Se muestra en el conjunto de las actividades y la frecuencia de mantenimiento rutinario a aplicar para el sistema de piñón corona.

Tabla 6. 3 Mantenimiento rutinario inspección correspondiente a los soportes del eje de accionamiento. Elaboración: Propia

Frecuencia	Actividad a realizar
Diariamente	Inspeccionar lubricación de corona dentada
	inspecciones estados de manómetros para inyección de grasa.
Mensualmente	Medir temperatura dientes contraeje y corona piñón
	Revisar nivel de grasa del acumulador lubricador de la corona y contraeje.
	Revisar estado de lubricación de grasa, bomba, bombilla, filtro lubricador
Trimestralmente	Inspección distancia entre borde del eje piñón al centro de la corona
Semestralmente	Inspección y medir raíz del diente entre piñón corona
	Inspección y medir back lash de piñón corona

CAPITULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Conclusiones

En el levantamiento de información tendiente a determinar el diagrama lógico funcional de los procesos de la planta de molienda. No se encontraron configuraciones con complejidad tal que no se pudiesen adaptar, por lo que los diagramas son bien representativos de la lógica funcional del proceso.

Este trabajo apunta a incrementar la disponibilidad y utilización del área de molienda, así como también aumentar el MTBF y disminuir el MTTR, mostrando los resultados posibles aplicando la ingeniería de mantenimiento. Estos KPI's nos permitirán definir oportunidades de mejoras a la gestión de activos de la planta. Con una correcta gestión de activos que apunta a una reducción de costos en el área de mantenimiento

La correcta aplicación del modelo de confiabilidad debe ser adaptada a los datos estadísticos que permitan tomar decisiones para una correcta gestión. Se planteó un modelo de análisis, que permitió explorar áreas de gestión en mantenimiento como encontrar equipos críticos y su demanda en tiempo de mantención, beneficios de una mejora y estudio de situación de equipos, basándose solo en indicadores como disponibilidad y confiabilidad, costo de la falta y diagramas de Pareto.

Los equipos de la planta molienda con mayores costo de la falta y global probabilidad de riesgo en los molinos barras son los motores eléctricos, actualmente el mantenimiento aplicado es de frecuencia trimestral. El éxito de la implementación en las secciones de la Planta de Molienda, depende directamente de la representatividad de la información vinculada al mantenimiento que implica implementar y sustituir los motores de 596,8 kw y un rediseño de un embrague montado sobre un soporte tipo cardan, así se obtienen los siguiente beneficio, control de torque y velocidad en el arranque y detenciones suaves del molino lo que reduce daño en los distintos componentes y aumenta la vida útil de los equipos, aumentando en la calidad del producto a través de un mejor

control del proceso de molienda, reducción de la pérdida de material, aumento de la disponibilidad de los molinos.

Recomendaciones

Solicitar a la gerencia de la planta Concentradora la adquisición e instalación de motores de 596,8 KW para molino de barra.

Sustituir el sistema de soporte de eje de accionamiento de los molinos de barra, por un rediseño de un embrague montado sobre un soporte tipo cardan, con la finalidad de disminuir las fallas presentadas en los molinos barra.

Aplicar el plan de mantenimiento rutinario formulado en el presente trabajo, de manera sostenida en el tiempo a los equipos de molinos de barras, enfatizando en los motores eléctricos a fin de evitar la frecuencia de fallas producto de excesivas partidas.

Desarrollar un programa de capacitación del personal de mantenimiento y operación de la planta en cuanto a un manejo del sistema integral de mantenimiento Soma esto permitirá garantizar un histórico de fallas que permitan realizar un análisis de criticidad continuo y efectivo de los sistemas.

Promover las reuniones de los análisis de fallas entre el equipo técnico de mantenimiento y el personal de operaciones, para incrementar la calidad de los reportes de fallas.

Actualizar de forma periódica el plan de mantenimiento rutinario en cuanto a su frecuencia, tiempo y actividad de mantenimiento.

Incluir conjunto de actividades del plan de mantenimiento rutinario formulado, en el sistema integral del mantenimiento.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Codelco. (2019). *Informe producción y balance metalúrgico Planta Concentradora*.
- [2] Renovetec Ingeniería del mantenimiento. (2015). *Manual práctico para la gestión eficaz del mantenimiento industrial*.
- [3] Arata, A. (2009). *Ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional en plantas industriales. Aplicación de la Plataforma R-MES*. RiL Editores.
- [4] Parra, C., & Crespo, A. (2012). *Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicada a la Gestión de Activos*. INGECON.
- [5] Moubray, J. (2004). *Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)*. Asheville, North Carolina USA: Aladon LLC.
- [6] Grajales, D. H. M., Candelario, M. P., & Sánchez, Y. O. (2006). La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento. *Scientia et technica*, 1(30), 155-160.

ANEXOS

A continuación, se detallan los anexos mencionados a lo largo de este documento.

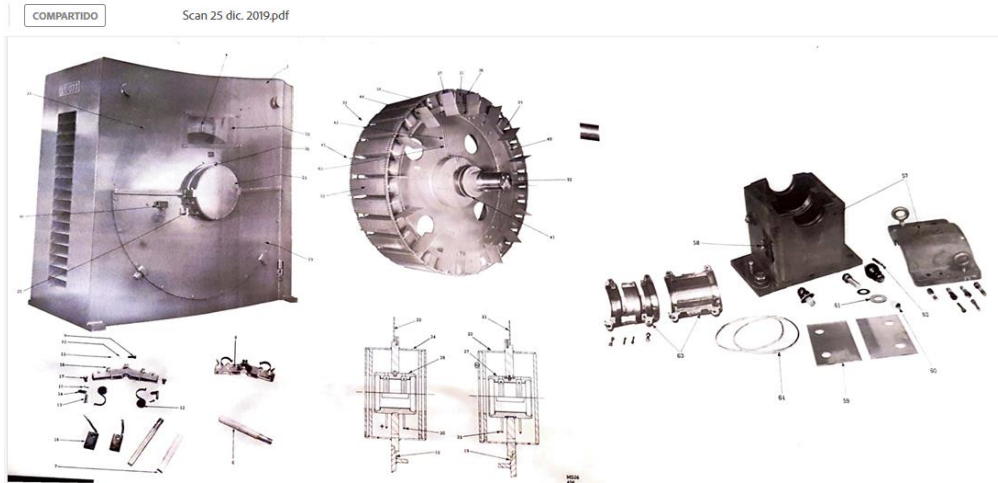


Figura 7. 1 Despiece de Motor 497kw actual Molinos Barra. Elaboración: Catálogo y Manual Molinos.

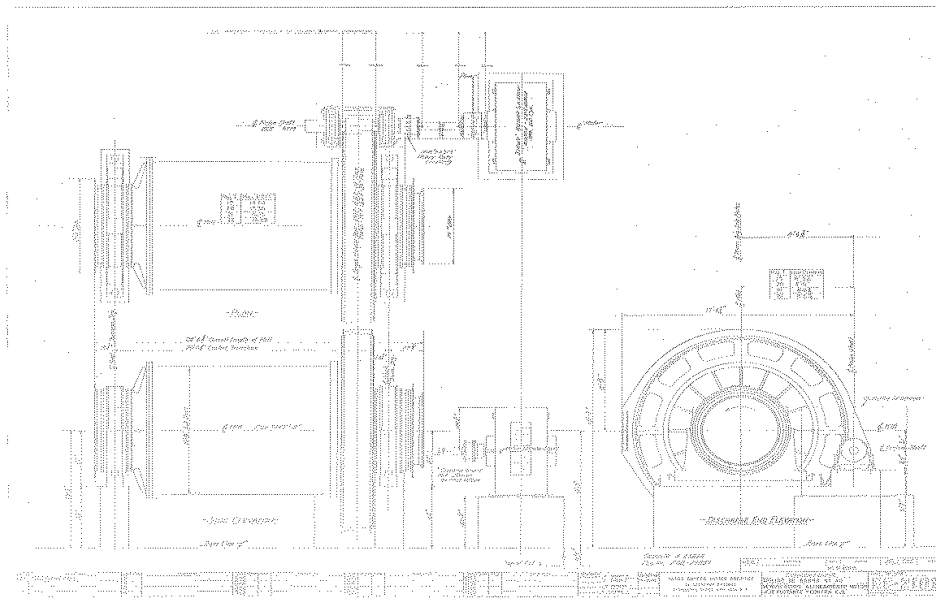


Figura 7. 2 Estructura de soporte Molinos de Barra. Elaboración: Catálogo y Manual Molinos.

Cotización de embrague con soporte para molinos barra.



Oferta: N° 7806032 SALVADOR
Cliente: CODELCO DIVISIÓN SALVADOR
Contacto: Sr. Alejandro Pacheco
Planta: Planta Concentradora
Servicio: Montaje Sistema de Embrague Molino Barra

En la presente se detalla costo del servicio de montaje del sistema de embrague desarrollado por SCEM, este considera un embrague EATON modelo 32v2800 completo, además de dos opciones de conexión al eje piñón (debe ser elegido solo una), a través de un eje cardán o con un eje flotante y acoplamientos de engranajes.

1. PERSONAL

Detalle	Cantidad
Ingeniero de Aplicaciones	1
Supervisores	2
Mecánicos	4
APR	1

2. ALCANCES GENERALES

- Se consideran solo trabajos de montaje del equipo suministrado por SCEM Chile (acoplamientos, embrague, cardan o eje distancador).
- Se considera un tiempo total de duración de los trabajos de 4 días (Jornada laboral de 8 horas diarias)
- Los tiempos establecidos se miden desde que el área está completamente limpia y con el motor posicionado sobre su base, estableciendo hora de inicio de actividades 08.00 a.m.
- El eje del motor eléctrico deberá poseer perforación pasante y radial, para paso de la línea de aire, según rosca indicado por fabricante EATON, la cual debe proveer la presión y caudal necesarios para la operación correcta del embrague.
- En caso de no poseer línea neumática para realizar pruebas en el equipo, se dará por concluido el montaje una vez ensamblado el conjunto completo.
- Se considera el acompañamiento de la puesta en marcha del componente en condiciones de operación normal, la cual debe ser programada con 2 semanas de antelación, por personal de CODELCO, quien realizará las gestiones necesarias para el ingreso de personal de SCEM, está contemplada solo una visita de puesta en marcha.
- Se incluyen 2 visitas para el seguimiento del funcionamiento del equipo durante la garantía.
- Los días adicionales en que se deba incurrir debido a factores ajenos a SCEM serán agregados a la facturación como indica el punto 5.3.

Figura 7. 5 Data Sheet de embrague tipo cardan proyectado en Molinos de Barra. Elaboración: SCEM Ltda.

3. EXCLUIDOS DE LA OFERTA

- Desmontaje del sistema actual.
- Modificación de estructuras o cimientos.
- Todo tipo de desconexión y conexión eléctrica.
- Operación de izaje, puentes grúa o maquinaria.
- Utilización de herramientas que generen altas temperaturas o soldadura.
- Servicio de alineamiento.
- Desviaciones en los tiempos de montaje ajenos a SCEM.
- El servicio no considera instalación de piping neumático.

4. ENTREGABLES:

- Procedimientos de Montaje.
- Procedimientos de Operación y Mantenimiento.
- Gantt de planificación de montaje.
- Informe de resultado final de montaje.

5. PRECIO UNITARIO DE SERVICIO Y PLAZO DE ENTREGA

5.1. VALOR UNITARIO NETO:	\$47.653.780 + IVA
5.2. DURACION DEL SERVICIO:	4 DIAS DE OPERACIÓN
5.3. DIA VALOR NETO DIA ADICIONAL:	\$ 4.807.000 + IVA

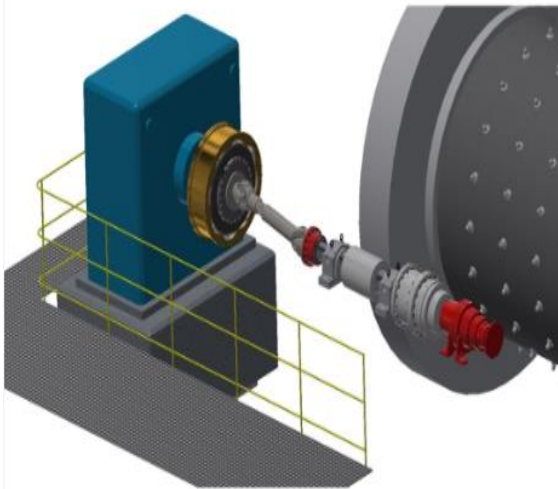


Figura 7. 6 Data Sheet de embrague tipo cardan proyectado en Molinos de Barra. Elaboración: SCEM Ltda.

COTIZACION N° : 7806000/19

Contacto : Sr. Alejandro Pacheco
E-Mail : apach002@codeco.cl

Fecha : 27-06-2019
Vendedor: JOAQUIN BASTIAS

De Nuestra Consideración:
Atendiendo a su consulta, tenemos el agrado de presentarles nuestra oferta por lo siguiente:

OPCION N°1 SISTEMA DE CONEXIÓN CON EJE CARDAN

Embrague Neumático Molino de Barras	
Marca	EATON
Modelo	38V1200
Torque	Nm 76.830
Presión de trabajo	Bar 5,2
Masa	kg 1.250
SF Nom.	2,56
Incluye	Elemento embrague Tambor Roto Seal Spider Kit Alimentación Sistema de transmisión interno
Eje Cardan	
Marca	GEWES
Modelo	GE97/03*2800
Origen	Alemania
Lz	mm 2.800
La	mm 170
Beta	° 15
Lh	h 40.000
N	rpm 185
Incluye	Cubos Contra eje Flanjes de conexión Taper bush
Entregables	
Manual de Operación	
Manual de Mantenimiento	
Manual de Montaje	
Precio de Venta Neto	USD 201.780,56
Plazo de entrega	29 a 30 Semanas

Figura 7. 7 Costo de embrague tipo cardan. Elaboración: SCEM Ltda.

OBSERVACIONES COMERCIALES

Condiciones de Pago : 50% junto con la Orden de compra y 50% 30 días luego de la entrega de los equipos.
Plazo de Entrega : EN CADA ITEM, en nuestra bodega Scem, desde la aceptación conforme de vuestra O/C
No incluidos en la oferta : Servicios de montaje
Garantías : 12 meses de operación o 14 meses desde la entrega de los componentes, lo que primero se cumpla.
Validez de la oferta : 15 días

FAVOR INDICAR NUMERO DE COTIZACION EN ORDEN DE COMPRA. ENVIAR A: scem@scem-chile.cl - ENTREGA DENTRO DEL AREA METROPOLITANA CONFORME A DISPONIBILIDAD DE TRANSPORTE INFORMACION RESPECTO AL DESPACHO 56-02-3691804 O AL 56-9-96197793

Ver condiciones generales de venta en <http://www.scemlatam.com/chile/condiciones-generales-de-ventas/>



Figura 7. 8 Orden comercial embrague. Elaboración: SCEM Ltda.