

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

VALPARAISO – CHILE



ELABORACIÓN DE PLANES DE MANTENIMIENTO
BASADOS EN RCM A EQUIPOS CRÍTICOS EN
ÁREA DE CHANCADO DE PLANTA
CONCENTRADORA DE COBRE EN TAMBILLOS,
REGIÓN DE COQUIMBO

CLAUDIO ANDRÉS BASÁEZ ZEPEDA

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
MECÁNICO

PROFESOR GUÍA: MBA ING. RENÉ VALDENEGRO OYANEDER

PROFESOR CORREFERENTE: DR ING. PEDRO SARIEGO PASTEN

OCTUBRE – 2025



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: ELABORACIÓN DE PLANES DE MANTENIMIENTO BASADOS EN RCM A EQUIPOS CRÍTICOS EN ÁREA DE CHANCADO DE PLANTA CONCENTRADORA DE COBRE EN TAMBILLOS, REGIÓN DE COQUIMBO

Nombre del candidato(a): CLAUDIO ANDRÉS BASÁEZ ZEPEDA

Carrera / Grado: INGENIERIA CIVIL MECÁNICA

Campus: CASA CENTRAL

Departamento: MECÁNICA

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, RENE VALDENEGRO OYANEDER, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (**marcar una opción**):

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 03/11/25

Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 30/10/2025

Firma:

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

Agradecimientos

En el término de esta etapa muy importante en mi vida quiero agradecerle primero a mi familia por apoyarme incondicionalmente en todos los ámbitos, a mis padres por ser mi pilar fundamental y también mi principal motivación para afrontar este camino largo, camino lleno de duros desafíos que con ellos atrás pude lograr y llegar a la meta que durante muchos momentos veía tan lejana, a mis hermanos que siempre me apoyaron desde lo anímico y me empujaron a seguir adelante como ellos lo hicieron.

Agradecimientos a mi profesor guía René Valdenegro y a todos los docentes del departamento de mecánica por su entrega en la labor de formar estudiantes y transformarlos en los mejores ingenieros del país con el sello de la histórica tradición del departamento, que sin dudas la portare con el más grande orgullo al lugar al que vaya, siempre.

A la Minera Tambillos por haberme dado la oportunidad de poder nutrirme de conocimientos y experiencias en la práctica y en este trabajo de título, que para mí fue una verdadera escuela. Al área de planificación donde me recibieron de la mejor manera posible, a Gonzalo Honores, Rodrigo Briceño y Juan Pablo Miranda quienes tuvieron la mejor disposición en todo momento a enseñarme y apoyarme en lo que hiciera falta.

Por último, a mis amigos quienes me acompañaron y fueron claves en los momentos difíciles que recorrimos juntos, y a cada persona que la vida puso en mi camino tendiéndome una mano de manera desinteresada y nunca supo lo importante que fue.

Dedicatoria

*A Sylvana y Claudio, mi energía para poder
ir más allá del horizonte...*

RESUMEN

El presente trabajo de memoria de título tiene como objetivo principal la elaboración de planes de mantenimiento para los equipos críticos del área de chancado de una planta concentradora de cobre ubicada en Tambillos, Región de Coquimbo, utilizando como base metodológica el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM). Este enfoque busca garantizar una mayor disponibilidad operativa, optimizar la utilización de recursos y reducir los eventos de falla no planificada que afectan la continuidad productiva.

La planta concentra su operación en una línea de chancado compuesta por un chancador primario de mandíbula, un chancador secundario de cono y un chancador terciario también de cono. Mediante un análisis de criticidad basado en criterios como impacto en la producción, frecuencia de fallas y consecuencias operativas, estos equipos fueron clasificados como activos críticos. A partir de ello, se desarrolló un estudio detallado de sus sistemas y componentes, identificando funciones, fallas funcionales, modos de falla y efectos asociados.

Para cada componente principal se aplicó la metodología AMFE (Análisis Modal de Fallos y Efectos), permitiendo priorizar los riesgos operacionales y orientar la toma de decisiones. Posteriormente, se utilizó el árbol de decisiones RCM para definir tareas específicas de mantenimiento.

Los resultados evidencian una proyección de reducción en las horas de detención no planificadas, un aumento estimado de la disponibilidad operacional y una mayor eficiencia en el uso de recursos técnicos.

Finalmente, se establecen e implementan planes de mantenimiento por equipo con sus respectivas frecuencias, tareas asociadas y fundamentos técnicos a software de gestión de activos, proporcionando una herramienta aplicable y sustentable para la gestión del mantenimiento en la planta.

ABSTRACT

The present thesis project aims to develop maintenance plans for the critical equipment in the crushing area of a copper concentrator plant located in Tambillos, Coquimbo Region, using Reliability-Centered Maintenance (RCM) as the methodological foundation. This approach seeks to ensure higher operational availability, optimize resource utilization, and reduce unplanned failure events that affect production continuity.

The plant's operation is focused on a crushing line composed of a primary jaw crusher, a secondary cone crusher, and a tertiary cone crusher. Through a criticality analysis based on criteria such as production impact, failure frequency, and operational consequences, these machines were classified as critical assets. Based on this, a detailed study of their systems and components was conducted, identifying their functions, functional failures, failure modes, and associated effects.

For each component, the Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) methodology was applied to prioritize operational risks and support decision-making. Subsequently, the RCM decision logic tree was used to define specific maintenance tasks.

The results show a projected reduction in unplanned downtime, an estimated increase in operational availability, and greater efficiency in the use of technical resources.

Finally, maintenance plans are established and implemented for each equipment with their respective frequencies, associated tasks and technical foundations to asset management software, providing an applicable and sustainable tool for maintenance management in the plant.

GLOSARIO

Activo: Elemento físico o funcional (como un equipo, sistema o componente) que cumple un propósito específico dentro de un proceso productivo.

Bowl Liner: Revestimiento interior fijo del tazón de un chancador de cono, que trabaja junto al manto para triturar el material.

Chancador de cono: Equipo de conminución utilizado en la etapa secundaria o terciaria de chancado. Tritura el mineral entre una superficie cónica giratoria y una fija.

Chancador de mandíbula: Equipo de conminución primaria que reduce el tamaño de las rocas por compresión entre una mandíbula fija y una móvil.

Eje excéntrico: Componente rotatorio que convierte movimiento circular en alternativo, fundamental en chancadores de mandíbula para generar el movimiento oscilante.

ENAMI (Empresa Nacional de Minería): Empresa estatal chilena que apoya a pequeños y medianos productores mineros, prestando servicios de compra, tratamiento y comercialización de minerales.

Excéntrica: Parte interna del chancador de cono que genera el movimiento giratorio y excéntrico del eje principal, produciendo la trituración del material.

Falla: Evento no deseado que interrumpe o reduce la capacidad de un activo para cumplir su función.

Falla funcional: Pérdida total o parcial de la capacidad de un activo para desempeñar su función requerida dentro de parámetros aceptables.

FMEA (Failure Modes and Effects Analysis): Metodología sistemática para identificar y analizar modos de falla potenciales y sus efectos en un sistema o proceso.

HH (Horas Hombre): Unidad de medida que representa una hora de trabajo realizada por una persona. Se usa para estimar esfuerzo o costos en actividades laborales.

Ley 19.300: Ley chilena sobre Bases Generales del Medio Ambiente. Establece principios, derechos, deberes e instrumentos para la protección ambiental, incluyendo el SEIA.

Longitud libre: Longitud total de un resorte helicoidal en estado no comprimido ni cargado.

Modo de falla: Forma específica en la que una falla puede ocurrir, como desgaste, rotura, corrosión, etc.

P80: Tamaño de partícula (en milímetros) por debajo del cual se encuentra el 80% del material tras un proceso de chancado o molienda.

PIB (Producto Interno Bruto): Valor monetario total de todos los bienes y servicios producidos en un país durante un período determinado.

RCM (Reliability-Centered Maintenance): Metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad. Busca preservar funciones de los activos de forma eficiente y segura.

Relaves: Residuos sólidos resultantes del proceso de concentración de minerales, dispuestos en depósitos especiales.

SEIA (Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental): Instrumento de la legislación chilena que permite evaluar los impactos ambientales de proyectos o actividades antes de su ejecución.

Setting: Distancia mínima entre los elementos trituradores de un chancador; determina el tamaño final del material triturado.

Soluciones 4.0: Tecnologías avanzadas como IoT, inteligencia artificial, automatización y análisis de datos aplicadas a la industria para optimizar procesos.

Stock pile: Acopio o pila de material a granel, utilizado como reserva de mineral entre procesos productivos.

CONTENIDO

RESUMEN.....	IV
ABSTRACT.....	V
GLOSARIO	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIV
INTRODUCCIÓN	XIX
Objetivo General	20
Objetivos Específicos	20
1. CAPITULO I: ANTECEDENTES GENERALES	21
1.1 Planta Tambillos.....	21
1.2 Organización administrativa.....	22
1.3 Contexto global	22
1.4 Proceso productivo	25
1.5 Equipos línea de chancado	27
1.5.1 Grizzly alimentador vibratorio.....	28
1.5.2 Chancador de mandíbula Sanland 900'x1200'	28
1.5.3 Harnero secundario YAg140 7'x15'	39
1.5.4 Chancador Sanland SH220	45
1.5.5 Harnero terciario TRIO 8202.....	53
1.5.6 Chancador Trio Tc – 66	59
2. CAPITULO II: FUNDAMENTOS DEL MANTENIMIENTO	66
2.1 Concepto del mantenimiento.....	66
2.2 Importancia del mantenimiento en contextos industriales	67
2.3 Evolución histórica del mantenimiento.....	68
2.3.1 Mantenimiento correctivo	68
2.3.2 Mantenimiento preventivo	69
2.3.3 Mantenimiento predictivo	70

2.3.4	Mantenimiento proactivo	70
2.3.5	Tabla comparativa de tipos de mantenimiento.....	72
2.4	Clasificación de las estrategias de mantenimiento	72
2.4.1	Mantenimiento correctivo no planificado	73
2.4.2	Mantenimiento correctivo planificado	73
2.4.3	Mantenimiento preventivo sistemático	74
2.4.4	Monitoreo basado en condición (predictivo)	75
2.4.5	Eliminación de causa raíz	75
3.	CAPITULO III: MARCO CONCEPTUAL.....	76
3.1	RCM	76
3.1.1	Contexto operacional	77
3.1.2	Funciones	78
3.1.3	Fallas funcionales.....	79
3.1.4	Modos de falla.....	79
3.1.5	Efectos de falla	80
3.1.6	Consecuencias de falla	81
3.1.7	Tareas proactivas.....	82
3.1.8	Fallos potenciales y curva P – F	83
3.1.9	Tareas de reacondicionamiento cíclico	84
3.1.10	Tareas de sustitución cíclica	85
3.1.11	Tareas a condición	85
3.1.12	Tareas “a falta de”	86
3.1.13	Hoja de información.....	87
3.1.14	Árbol de decisiones	87
3.1.15	Aplicación del árbol de decisiones RCM para llenado de hoja de decisiones	91
3.2	Herramientas y metodologías integradas en RCM.....	92
3.2.1	Análisis de criticidad.....	93
3.2.2	Metodología del análisis de criticidad	93
3.2.3	FMEA.....	94
3.2.4	Análisis funcional	95
3.2.5	Diagrama funcional de bloques.....	95
3.2.6	Confiabilidad operacional	98

4. CAPITULO IV: APLICACIÓN RCM	101
4.1 Análisis de criticidad MCR	101
4.1.1 Tablas de valores.....	102
4.1.2 Matriz de criticidad	105
4.1.3 Evaluación de factores por equipo	106
4.2 Contexto operacional.....	109
4.3 Situación actual del mantenimiento en planta de chancado	110
4.4 Disponibilidad área de chancado.....	111
4.4 Producción planta de chancado	113
4.6 Costos actuales de mantenimiento en planta de chancado	113
4.7 Análisis horas de mantenimiento línea de chancado	114
4.7.1 Horas de mantenimiento correctivo en línea de chancado.....	118
4.8 Identificación de sistemas y componentes principales de equipos críticos	119
4.8.1 Sistemas y componentes de chancador primario de mandíbulas	119
4.8.2 Sistemas y componentes de chancador secundario y terciario de cono	120
5. CAPITULO V: PLANES DE MANTENIMIENTO RCM	122
5.1 Placas de mandíbula	122
5.2 Volante de inercia.....	¡Error! Marcador no definido.
5.3 Pitman.....	¡Error! Marcador no definido.
5.4 Sistema de ajuste	¡Error! Marcador no definido.
5.5 Motor eléctrico	¡Error! Marcador no definido.
5.6 Eje excéntrico	124
5.7 Bomba de lubricación.....	¡Error! Marcador no definido.
5.8 Líneas de lubricación.....	¡Error! Marcador no definido.
5.9 Rodamientos	¡Error! Marcador no definido.
5.10 Toggle plate	¡Error! Marcador no definido.
5.11 Sistema de detención de emergencia	¡Error! Marcador no definido.
5.12 Manto.....	¡Error! Marcador no definido.
5.13 Cóncavo	¡Error! Marcador no definido.
5.14 Cabezal de trituración.....	¡Error! Marcador no definido.
5.15 Eje principal.....	¡Error! Marcador no definido.
5.16 Excéntrica	126

5.17	Engranajes piñón corona	161
5.18	Cilindros hidráulicos de traba.....	128
5.19	Cilindros hidráulicos de fijación	¡Error! Marcador no definido.
6.	CAPITULO VI: ANALISIS ECONOMICO E IMPLEMENTACIÓN.....	135
6.1	Situación actual	135
6.2	Costos actuales por detenciones no programadas en chancadores	136
6.3	Costos de implementación del plan RCM	136
6.4	Estimación de beneficios.....	137
6.5	Impacto en la disponibilidad operacional.....	137
6.6	Proceso de implementación de planes de mantenimiento RCM	138
	CONCLUSIONES.....	140
	REFERENCIAS	142
	ANEXOS	143

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Planta concentradora Tambillos.	21
Figura 1.2: Organigrama administrativo planta Tambillos. (Elaboración propia).....	22
Figura 1.3: Diagrama de flujo línea de chancado.	26
Figura 1.4: Diagrama de flujo molienda, flotación y filtrado.	26
Figura 1.5: Diagrama de flujo de relaves.	27
Figura 1.6: Cuerpo principal chancador de mandíbula.	31
Figura 1.7: Placa de seguridad.	36
Figura 1.8: Harnero YAg140 7'x15'.	40
Figura 1.9: Partes principales harnero YAg140 7'x15'.	41
Figura 1.10: Chancador Sanland SH220.	46
Figura 1.11: Cabezal de trituración de chancador Sanland SH220.	47
Figura 1.12: Manto chancador Sanland SH220.	48
Figura 1.13: Cóncavo chancador Sanland SH220.	49
Figura 1.14: Anillo de ajuste chancador Sanland SH220.	50
Figura 1.15: Chancador Trio TC - 66 en corte y componentes principales.	60
Figura 3.1: Curva P-F. (Moubray, 2000)	83
Figura 3.2: Intervalo P-F neto. (Moubray, 2000).	84
Figura 3.3: Hoja de información RCM.	87
Figura 3.4: Árbol de decisiones primera parte.	89
Figura 3.5: Árbol de decisiones segunda parte.	90
Figura 3.6: Hoja de decisiones RCM	91
Figura 3.7: Diagrama funcional adaptado de Botto et al. (Figura 3, pág. 11).....	96
Figura 3.8: Diagrama EPS - Chancador Sanland 900'x1200'.	97
Figura 3.9: Diagrama EPS - Chancador Sanland SH220.	98
Figura 3.10: Diagrama EPS - Chancador TRIO - 66.	98
Figura 3.11: Diagrama confiabilidad operacional (Elaboración propia)	99
Figura 4.1: Matriz de criticidad MCR.	105
Figura 4.2: Curvas de disponibilidad, utilización y horas de mantenimiento de planta de chancado.	112

Figura 4.3: Gráfica de barras de horas de mantenimiento por mes y frecuencia absoluta relativa de la distribución.	115
Figura 4.4: Grafica de horas de mantenimiento v/s disponibilidad.	116
Figura 4.5: Grafica de dispersión utilización v/s horas de mantenimiento.	117

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Equipos principales de línea de chancado.	27
Tabla 1.2: Especificaciones generales chancador Sanland.	29
Tabla 1.3: Características principales harnero YAg140 7'x15'.	39
Tabla 1.4: Componentes principales chancador Trio TC – 66.	60
Tabla 2.1: Tabla comparativa de tipos de mantenimiento.	72
Tabla 4.1: Factor de frecuencias de fallas.	102
Tabla 4.2: Factor impacto seguridad y medio ambiente.	102
Tabla 4.3: Factor impacto en calidad.	103
Tabla 4.4: Factor impacto en producción.	103
Tabla 4.5: Factor impacto por baja mantenibilidad.	104
Tabla 4.6: Factor impacto en costos de mantenimiento.	104
Tabla 4.7: Matriz de criticidad resultante.	109
Tabla 4.8: Disponibilidad y utilización de planta de chancado.	111
Tabla 4.9: Toneladas procesadas y disponibilidad de planta de chancado.	113
Tabla 4.10: Costos de mantenimientos y repuestos de planta de chancado.	114
Tabla 4.11: Distribución estadística de horas de mantenimiento mensuales en planta de chancado.	114
Tabla 4.12: Horas de mantenimiento correctivo por mes.	118
Tabla 4.13: Subsistemas y componentes de chancador Sanland 900'x1200'.	119
Tabla 4.14: Subsistemas y componentes de chancador Sanland SH220.	120
Tabla 4.15: Subsistemas y componentes de chancador TRIO TC-66.	121
Tabla 5.1: Hoja de información de placas de mandíbula de chancador Sanland 900'x1200'.	122
Tabla 5.2: Hoja de decisión de placas de mandíbula de chancador Sanland 900'x1200'.	123
Tabla 5.11: Hoja de información de eje excéntrico de chancador Sanland 900'x1200'.	124
Tabla 5.12: Hoja de decisión de eje excéntrico de chancador Sanland 900'x1200'. ..	125
Tabla 5.31: Hoja de información de excéntrica de chancador Sanland SH220.	126
Tabla 5.32: Hoja de decisión de excéntrica de chancador Sanland SH220.	127

Tabla 5.35: Hoja de información de cilindros hidráulicos de traba de chancador Sanland SH220.....	128
Tabla 5.36: Hoja de decisión de cilindros hidráulicos de traba de chancador Sanland SH220.....	129
Tabla 5.41: Hoja de información de bomba de sistema hidráulico y de lubricación de chancador Trio TC – 66.	130
Tabla 5.42: Hoja de decisión de bomba de sistema hidráulico y de lubricación de chancador Trio TC - 66.	131
Tabla 5.47: Hoja de información de motor hidráulico de chancador Trio TC - 66. .	132
Tabla 5.48: Hoja de decisión de motor hidráulico de chancador Trio TC - 66.....	133
Tabla 6.1: Costo mensual por no producción de chancadores en distintos escenarios de autonomía.	136
Tabla 6.2: Beneficio neto mensual en USD.	137
Tabla 6.3: Reducción de horas no programadas y disponibilidad resultante.	138

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Hoja de información de volante de inercia de chancador Sanland 900'x1200'.	143
Anexo B: Hoja de decisión de volante de inercia de chancador Sanland 900'x1200'.	143
Anexo C: Hoja de información de pitman de chancador Sanland 900'x1200'.	144
Anexo D: Hoja de decisión de pitman de chancador Sanland 900'x1200'.	145
Anexo E: Hoja de información de sistema de ajuste de chancador Sanland 900'x1200'.	145
Anexo F: Hoja de decisión de sistema de ajuste de chancador Sanland 900'x1200'.	146
Anexo G: Hoja de decisión de motor eléctrico de chancador Sanland 900'x1200'.	147
Anexo H: Hoja de decisión de motor eléctrico de chancador Sanland 900'x1200'.	148
Anexo I: Hoja de información de bomba de lubricación neumática de chancador Sanland 900'x1200'.	149
Anexo J: Hoja de decisión de bomba de lubricación neumática de chancador Sanland 900'x1200'.	150
Anexo K: Hoja de información de líneas de lubricación de chancador Sanland 900'x1200'.	150
Anexo L: Hoja de decisión de líneas de lubricación de chancador Sanland 900'x1200'.	151
Anexo M: Hoja de información de rodamientos de chancador Sanland 900'x1200'.	152
Anexo N: Hoja de decisión de rodamientos de chancador Sanland 900'x1200'.	152
Anexo O: Hoja de información de toggle plate de chancador Sanland 900'x1200'.	153
Anexo P: Hoja de decisión de toggle plate de chancador Sanland 900'x1200'.	153
Anexo Q: Hoja de información de detención de emergencia de chancador Sanland 900'x1200'.	154
Anexo R: Hoja de decisión de sistema de detención de emergencia.	155
Anexo S: Hoja de información del manto de chancador Sanland SH220.	155
Anexo T: Hoja de decisión del manto de chancador Sanland SH220.	156
Anexo U: Hoja de información de cóncavo de chancador Sanland SH220.	157
Anexo V: Hoja de decisión del cóncavo de chancador Sanland SH220.	157
Anexo W: Hoja de información de cabezal de trituración de chancador Sanland SH220.	158

Anexo X: Hoja de decisión de cabezal de trituración de chancador Sanland SH220.	159
Anexo Y: Hoja de información de engranajes piñón corona de chancador Sanland SH220.	160
Anexo Z: Hoja de decisión de engranaje piñón corona de chancador Sanland SH220.	160
Anexo AA: Hoja de información eje principal de chancador Sanland SH220.	161
Anexo BB: Hoja de decisión de eje principal de chancador Sanland SH220.	162
Anexo CC: Hoja de información de cilindros hidráulicos de fijación de chancador Sanland SH220.	162
Anexo DD: Hoja de decisión de cilindros de fijación de chancador Sanland SH220.	163
Anexo EE: Hoja de información de acumuladores de chancador Sanland SH220.	164
Anexo FF: Hoja de información de filtros de aceite de chancador secundario Sanland SH220.	166
Anexo GG: Hoja de decisión de filtros de aceite de chancador Sanland SH220.	167
Anexo HH: Hoja de información de anillo de ajuste de chancador Sanland SH220.	168
Anexo II: Hoja de decisión de anillo de ajuste de chancador Sanland SH220.	168
Anexo JJ: Hoja de información de manto de chancador Trio TC - 66.	169
Anexo KK: Hoja de decisión de manto de chancador Trio TC - 66.	170
Anexo LL: Hoja de información de cóncavo de chancador Trio TC - 66.	171
Anexo MM: Hoja de decisión de cóncavo de chancador Trio TC - 66.	172
Anexo NN: Hoja de información de cabezal de trituración de chancador Trio TC - 66.	173
Anexo OO: Hoja de decisión de cabezal de trituración de chancador Trio TC - 66.	173
Anexo PP: Hoja de información de eje principal de chancador Trio Tc - 66.	174
Anexo QQ: Hoja de decisión de eje principal de chancador Trio TC - 66.	175
Anexo RR: Hoja de información de excéntrica de chancador Trio TC - 66.	175
Anexo SS: Hoja de decisión de excéntrica de chancador Trio TC - 66.	176
Anexo TT: Hoja de información de engranajes piñón corona de chancador Trio TC - 66.	177
Anexo UU: Hoja de decisión de engranaje piñón corona de chancador Trio TC - 66.	178

Anexo VV: Hoja de información cilindros hidráulicos de traba de chancador Trio TC - 66.....	178
Anexo WW: Hoja de decisión de cilindros hidráulicos de traba de chancador Trio TC - 66.	179
Anexo XX: Hoja de información de cilindros hidráulicos de fijación de chancador Trio TC - 66.	180
Anexo YY: Hoja de decisión de cilindros de fijación de chancador Trio TC - 66...181	
Anexo ZZ: Hoja de información de acumuladores de chancador Trio TC - 66.	182
Anexo AAA: Hoja de decisión de acumuladores de chancador Trio TC - 66.....	183
Anexo BBB: Hoja de información de filtros de aceite de chancador Trio TC - 66..	184
Anexo CCC: Hoja de decisión de filtros de aceite de chancador Trio TC - 66.	185
Anexo DDD: Hoja de información de anillo de ajuste de chancador Trio TC - 66..	186
Anexo EEE: Hoja de decisión de anillo de ajuste de chancador Trio TC - 66.	186

INTRODUCCIÓN

La minería es uno de los pilares de la economía chilena, representando sobre el 11 % del PIB nacional y más del 55 % de las exportaciones de bienes tradicionales del país en 2024 (Banco Central de Chile, 2025). Dentro de este sector, la producción de cobre es fundamental, posicionando a Chile como el principal productor a nivel mundial. Para sostener estos niveles de producción en un entorno cada vez más exigente, es imprescindible asegurar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos involucrados en las distintas etapas del proceso productivo, particularmente en el área de chancado, donde se inicia la conminución del mineral.

La operación eficiente de los equipos de chancado influye directamente en la continuidad operacional de la planta, afectando parámetros clave como la tasa de tratamiento, la granulometría de alimentación a la molienda y, en consecuencia, la recuperación metalúrgica. En este contexto, el mantenimiento adquiere un rol estratégico, siendo determinante para minimizar fallas imprevistas, optimizar recursos y garantizar el cumplimiento de indicadores operacionales como disponibilidad, utilización y confiabilidad.

Diseñar planes de mantenimiento sólidos, alineados con las condiciones reales de operación, permite mitigar riesgos operacionales y extender la vida útil de los activos. Para ello, resulta esencial aplicar enfoques estructurados como el mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), que incorpora el análisis de modos de falla, consecuencias operativas y contexto funcional de los equipos.

Objetivo General

Desarrollar una estrategia de mantenimiento basada en confiabilidad (RCM) para los equipos críticos de la línea de chancado de planta concentradora de cobre ubicada en Tambillos en la región de Coquimbo, con el fin de mejorar su disponibilidad, reducir fallas inesperadas y optimizar la gestión de activos.

Objetivos Específicos

- Identificar y clasificar los equipos críticos de la línea de chancado, utilizando criterios técnicos como frecuencia de fallas, impacto en la producción, costos asociados a detenciones no programadas y consecuencias en seguridad.
- Conformar un grupo de trabajo RCM multidisciplinario, compuesto por representantes de las áreas de mantenimiento, operaciones, ingeniería y prevención de riesgos, con el fin de asegurar una visión integral en el análisis de confiabilidad.
- Aplicar la metodología RCM para desarrollar tablas FMEA (Análisis de Modo y Efecto de Falla), identificando modos de falla potenciales, sus causas, consecuencias y acciones de mantenimiento adecuadas.
- Proponer un plan de mantenimiento optimizado, basado en los resultados del análisis RCM, que contemple tareas preventivas, predictivas, inspecciones operacionales y posibles rediseños, priorizando la confiabilidad de los activos.
- Elaborar una propuesta de implementación del plan de mantenimiento, indicando recursos necesarios y plazos estimados, con el fin de facilitar su puesta en marcha por parte del área de mantenimiento de la planta.

1. CAPÍTULO I: ANTECEDENTES GENERALES

1.1 Planta Tambillos

La planta concentradora de Tambillos nace en 1960 bajo el alero de ENAMI como poder comprador mientras que la mina inicia actividades como Santa Cecilia Primera, esto hasta 1976 donde pasa a ser parte del consorcio Behncke y otros hasta 1982. En 1986 es adquirida por el grupo Errazuriz, situación que permanece hasta la actualidad. La planta procesa sulfurados de cobre con leyes entre 0,7 y 0,9% Cu proveniente de dos yacimientos, mina Verde y mina Florida ubicados en el sector El Peñón y Tambillos respectivamente, ambos a no más de 20 kilómetros de la planta, obteniendo como producto final un concentrado con leyes de 25% Cu en promedio.

En su gran mayoría la planta procesa mineral para la obtención de concentrado de cobre sin embargo a finales del año 2022 se comenzó también a procesar hierro adaptando la planta con equipos y procesos nuevos para la obtención final de concentrado de hierro de alta ley (0,40).

El sistema de turnos día y noche que maneja la planta ambos de 12 horas permiten que la línea de chancado logre procesar en promedio 2500 toneladas diarias pudiendo alcanzar sobre 60000 toneladas mensuales aproximadamente para obtener finalmente en promedio 1600 toneladas de concentrado de cobre y 420 toneladas de fino al mes.



Figura 1.1: Planta concentradora Tambillos.

1.2 Organización administrativa

La planta Tambillos cuenta con un tipo de organización tradicional denominada Estructura Funcional, esta es un tipo de estructura jerárquica donde cada empleado tiene un superior y las áreas son agrupadas según sus especialidades, así pudiendo dividir las actividades de acuerdo con cada área de especialización. De esta manera se busca que cada colaborador de la organización pueda trabajar en el área en la cual se puede desenvolver de mejor manera y desarrollar sus competencias correctamente.



Figura 1.2: Organigrama administrativo planta Tambillos. (Elaboración propia)

1.3 Contexto global

Para comprender el contexto global, se realizó un análisis PESTEL a la planta Tambillos, en el cual se identificaron las fuerzas externas a nivel macro que influyen

sobre ella y que puedan determinar su evolución, tanto en términos económicos como de reputación. En esas fuerzas externas se encuentran los factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ambientales y legales. Por lo que, basado en las condiciones en Chile y en la industria minera, se tiene:

- **Político**

El panorama político actual contempla la aprobación de reformas al SEIA con el objetivo de agilizar la evaluación de proyectos mineros, incluyendo a nivel regional. La descentralización ha fortalecido las competencias de las autoridades regionales, lo que puede acelerar o demorar permisos dependiendo del escenario local. Asimismo, la implementación de modificaciones a la ley de regalías incrementa la carga tributaria sobre la minería, afectando también a la pequeña y mediana minería.

- **Económico**

La minería representó el 11,7% del PIB chileno en 2024 (Cochilco, 2025), con el cobre como principal producto de exportación. La planta cuenta con acceso directo a la carretera D-43, lo que reduce costos logísticos y mejora la eficiencia del transporte. Sin embargo, la presión tributaria y las demoras en permisos pueden afectar la capacidad de inversión.

- **Social**

La proximidad a una comunidad local exige una gestión responsable del entorno, especialmente en materias como ruido, polvo y tránsito. La normativa establece requisitos de consulta ciudadana y aplicación del Convenio 169, dirigidos a proteger a comunidades y evitar conflictos sociales. La presencia de infraestructura comunitaria cercana aumenta la necesidad de mitigar impactos.

- **Tecnológico**

La presión por la modernización impulsa la incorporación de tecnologías más eficientes, digitalización y monitoreo remoto en plantas

de menor escala. La adopción de soluciones 4.0 representa ventajas competitivas, aunque exige inversión y adaptación operativa.

- **Ambiental**

El reforzamiento del marco ambiental lleva a una mayor fiscalización y a multas más severas por incumplimientos. Faenas como la planta en Tambillos cercanas a comunidades y vías sensibles debe gestionar adecuadamente emisiones, residuos y aguas, en línea con los estándares del SEIA y la SMA. La presión por sostenibilidad crea tanto exigencias como oportunidades para mejorar la licencia social.

- **Legal**

La planta está sujeta a la Ley 19.300 y su reglamento SEIA (DS 40/12) para proyectos de impacto ambiental. Además, se requiere cumplir con la legislación sobre cierres de faenas (Ley 20.551), que exige garantías y planes de cierre desde las primeras etapas. La obligación de realizar consultas según el Convenio 169 puede extender los plazos de aprobación de permisos.

En forma de conclusión, el contexto político presenta tanto mejoras regulatorias como restricciones tributarias y ambientales. Desde el punto de vista económico, la planta cuenta con ventajas logísticas y un sector estratégico. Socialmente, la cercanía a comunidades exige un enfoque proactivo en mitigación de impactos. En el ámbito tecnológico, la digitalización ofrece beneficios, pero requiere inversión. Ambientalmente, las exigencias normativas son más estrictas, lo cual demanda sistemas robustos de gestión. Legalmente, se suman cargas en permisos, cierre y consulta, que pueden prolongar los ciclos operativos.

1.4 Proceso productivo

El proceso para obtener concentrado de cobre mediante flotación comienza con el chancado, cuyo fin es reducir el tamaño del mineral que proviene de la mina. Inicialmente, el mineral se procesa en un chancador primario (de mandíbula), donde se reduce a un tamaño entre 3 y 4 pulgadas. Luego, este material es transportado a través de correas transportadoras hasta el chancador secundario (de cono), donde se reduce aún más, alcanzando entre 28 y 35 milímetros. En casos, el mineral pasa también por un chancador terciario, reduciéndose aún más obteniendo un P80 de 12 a 13 milímetros.

El mineral chancado se clasifica por medio del uso de harneros vibratorios, que separan las partículas de mineral por su tamaño. Las más grandes se recirculan para reprocesarse, mientras que las finas continúan hacia un “stock pile” que alimenta los molinos de bolas.

Una vez que el mineral llega a los molinos de bolas, se muele hasta lograr un tamaño adecuado para liberar las partículas de cobre del material estéril. La mezcla que se genera es llamada pulpa, compuesta por agua y el mineral molido, es enviada a las celdas de flotación, donde por medio de la adición de reactivos y la turbulencia generada por el agitador, se forman burbujas a las que las partículas de cobre se adhieren. Estas suben a la superficie, donde se extraen como espuma, mientras que los residuos no valiosos de mineral (relaves) quedan en el fondo de la celda de flotación.

El concentrado de cobre obtenido se envía a los espesadores de concentrado, donde se reduce su contenido de agua, y luego pasa a filtros de placas. Aquí, mediante bombas de vacío, se elimina más agua, produciendo un concentrado sólido con un alto contenido de cobre. Los relaves, por otro lado, se procesan en espesadores de relave, donde se recupera el agua del proceso, la que se reutiliza nuevamente y los sólidos restantes se transportan a los depósitos de relaves.

Con el fin de ilustrar lo descrito se muestra el diagrama de flujo de la planta.

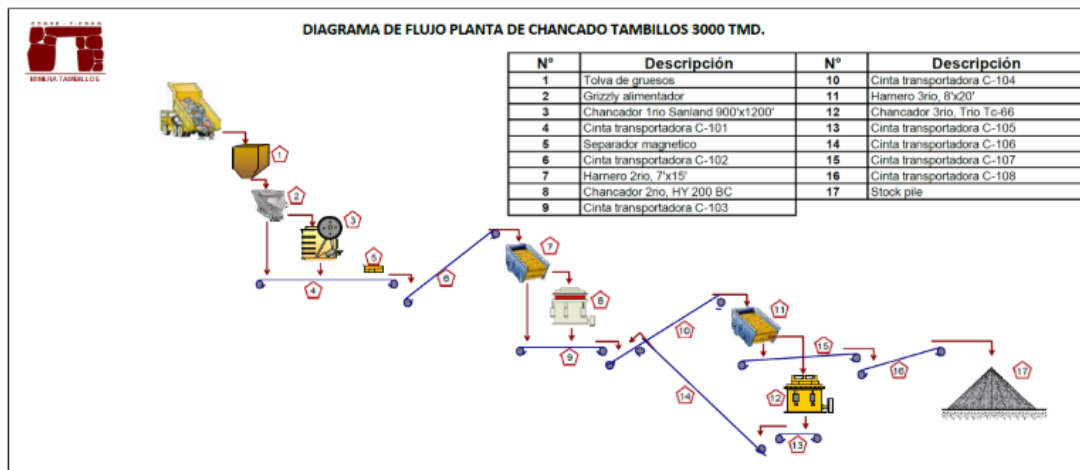


Figura 1.3: Diagrama de flujo línea de chancado.

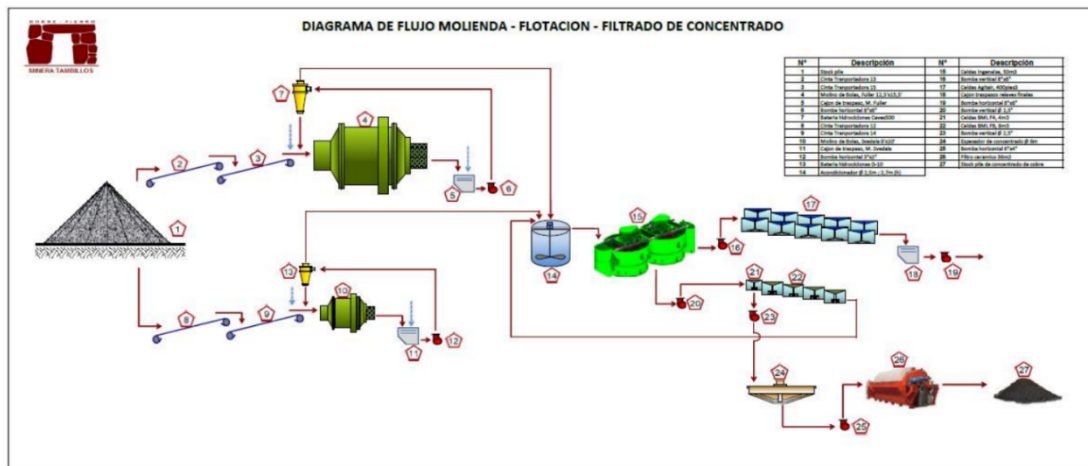


Figura 1.4: Diagrama de flujo molinaria, flotación y filtrado.

1.5.1 Grizzly alimentador vibratorio

El Grizzly alimentador vibratorio es el equipo ubicado al inicio de la línea de chancado, cuya función principal es regular y suministrar un flujo continuo y controlado de mineral grueso hacia el chancador de mandíbula. Este equipo cumple además una función de clasificación primaria, permitiendo la separación del material fino mediante un sistema de parrillas denominado "Grizzly", con el objetivo de evitar la sobrecarga del equipo chancador.

El grizzly alimentador está compuesto principalmente por una tolva de alimentación, un cuerpo vibratorio, una parrilla de barras metálicas (Grizzly), un sistema de vibración accionado por un motor eléctrico con eje excéntrico, resortes de soporte para absorber la vibración, y un chute de descarga que dirige el material clasificado hacia el chancador.

En condiciones normales de operación, el equipo trabaja con una capacidad de alimentación que puede variar entre 120 y 140 toneladas por hora. El tamaño máximo del material que puede recibir alcanza aproximadamente las 40 pulgadas, mientras que la apertura entre las barras de la parrilla Grizzly poseen una separación de 4 pulgadas, permitiendo así el paso de finos y evitando su ingreso al chancador primario. La frecuencia de vibración del equipo oscila típicamente entre 2000 y 2100 RPM, generando un movimiento oscilatorio que permite el desplazamiento eficiente del mineral sobre la parrilla.

1.5.2 Chancador de mandíbula Sanland 900'x1200'

El chancador de mandíbula constituye el equipo principal en la etapa de chancado primario. Su función es reducir el tamaño del material proveniente del grizzly alimentador, triturando mineral de alta dureza mediante compresión mecánica entre una mandíbula fija y una móvil. Este proceso es fundamental para preparar el mineral para las etapas posteriores de chancado y clasificación.

Este modelo está diseñado para operar con materiales de resistencia a la compresión de hasta 250 MPa, común en procesos de minería.

El equipo está compuesto por un bastidor de acero soldado y reforzado, una mandíbula fija montada sobre la estructura y una mandíbula móvil unida a un eje excéntrico. La transmisión de movimiento se realiza mediante un sistema de poleas y correas, accionado por un motor eléctrico. El eje excéntrico genera un movimiento oscilante que permite la trituración progresiva del mineral.

Incluye también un sistema de ajuste mecánico mediante cuñas para modificar la abertura de descarga y así controlar la granulometría del producto. Cuenta con resortes y placas fusibles para absorber impactos o proteger el equipo ante sobrecargas.

Tabla 1.2: Especificaciones generales chancador Sanland.

Parámetro	Especificación
Modelo	STPEF0912
Abertura de alimentación	900 x 1200 mm
Tamaño máximo de alimentación	750 mm
Abertura de descarga ajustable	130 ± 35 mm
Capacidad de producción	130 m ³ /h (densidad 1,6 t/m ³)
Velocidad de eje excéntrico	225 rpm
Motor recomendado	JR126-8, 110 kW
Velocidad del motor	730 rpm
Dimensiones generales	4812 x 4466 x 3270 mm
Peso total	46700 kg

A continuación se detallan los componentes principales del activo:

- Bastidor (cuerpo principal)
- Mandíbula fija
- Mandíbula móvil

- Eje excéntrico
- Pitman
- Volante de inercia
- Sistema de ajuste
- Resortes de tensión
- Tope o placa de seguridad (toggle plate)
- Rodamientos
- Sistema de lubricación

1.5.2.1 Bastidor (cuerpo principal)

El bastidor es la estructura principal del chancador de mandíbula, su función es soportar y mantener alineados todos los componentes mecánicos del equipo durante su operación. Está diseñado para resistir los esfuerzos estáticos y dinámicos generados por la trituración de mineral, incluyendo vibraciones, impactos y cargas mecánicas distribuidas.

Está construido en una sola pieza por medio de fundición, con una configuración que da rigidez estructural y estabilidad. Su materialidad corresponde a acero fundido, dado a su resistencia mecánica y durabilidad frente al desgaste y la fatiga.

Las dimensiones aproximadas del bastidor son 2730 mm (largo), mm 2760 (ancho) y 2820 mm (alto), lo que permite albergar internamente las mandíbulas y el sistema de transmisión. Además, cuenta con alojamientos reforzados para los rodamientos principales del eje excéntrico, bases para el montaje de volantes y poleas, y zonas mecanizadas para la instalación de placas de desgaste laterales.

El diseño del bastidor también incluye puntos de anclaje para su fijación sobre la base de concreto, y superficies mecanizadas para asegurar un ajuste preciso con los componentes móviles.

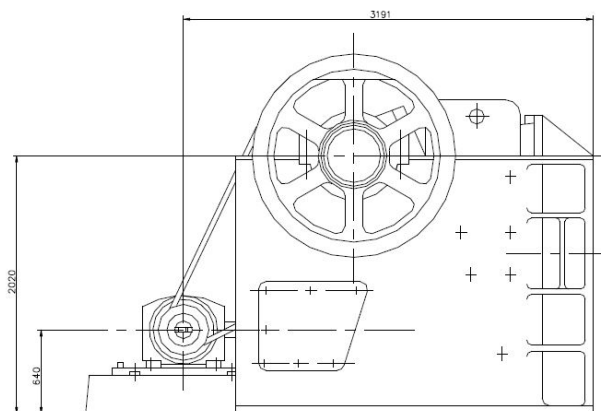


Figura 1.6: Cuerpo principal chancador de mandíbula.

1.5.2.2 Mandíbula fija

La mandíbula fija es uno de los dos elementos principales encargados de realizar el proceso de trituración en el chancador de mandíbula. Su función consiste en actuar como superficie estática contra la cual el mineral es comprimido por el movimiento oscilante de la mandíbula móvil, permitiendo así la reducción del tamaño de las rocas.

Este componente está montado de forma permanente sobre el bastidor del chancador, utilizando sistemas de fijación con pernos de anclaje, los cuales aseguran su estabilidad durante la operación.

La mandíbula fija posee una superficie de trabajo revestida por una placa de desgaste o "liner", fabricada en acero al manganeso 18%, cuya dureza y resistencia le permiten soportar condiciones abrasivas intensas. Estas placas son reemplazables y están fijadas a la estructura mediante pernos y cuñas.

Las dimensiones aproximadas de la mandíbula fija son 900 mm de largo y 2400 mm de alto, y su superficie presenta un diseño ranurado para mejorar la eficiencia del proceso de trituración.

Durante la operación, la mandíbula fija trabaja en conjunto con la mandíbula móvil, generando una zona de compresión variable que define la apertura de salida del chancador.

1.5.2.3 Mandíbula móvil

La mandíbula móvil es el componente dinámico principal del chancador de mandíbula. Su función es generar el movimiento oscilante que permite comprimir el material contra la mandíbula fija, provocando su fragmentación y reducción de tamaño.

Este elemento está montado sobre el conjunto del pitman y se conecta al eje excéntrico, el cual le transmite un movimiento de vaivén. Esta oscilación produce un efecto de trituración progresivo, en el que el mineral se fractura al descender a lo largo de la cámara de chancado.

La mandíbula móvil está construida en acero fundido, diseñada para resistir las cargas cíclicas de impacto y las tensiones mecánicas elevadas del proceso. Su superficie de trabajo está recubierta por una placa de desgaste intercambiable, fabricada en acero al manganeso 18%, que permite prolongar la vida útil del componente base.

Las dimensiones aproximadas de la mandíbula móvil son 900 mm de largo por 2400 mm de alto, y presenta un perfil ranurado que mejora la tracción sobre el mineral y optimiza la eficiencia del chancado.

1.5.2.4 Eje excéntrico

El eje excéntrico es uno de los componentes fundamentales del sistema de transmisión del chancador de mandíbula. Su función principal es convertir el movimiento rotacional generado por el motor eléctrico en un movimiento oscilante, el cual es transmitido a la mandíbula móvil a través del pitman, generando así el ciclo de compresión y liberación del material a triturar.

Este eje está montado sobre el bastidor del chancador mediante rodamientos de alta capacidad, que permiten su rotación continua bajo condiciones de carga y vibración. Su diseño incluye un desplazamiento del centro geométrico, lo que le da el carácter excéntrico y permite inducir el movimiento alternativo necesario para el chancado.

El eje excéntrico está fabricado en acero SAE 4340, tratado térmicamente para soportar cargas dinámicas, impactos y esfuerzos torsionales. Las dimensiones del eje son 2786 mm de largo y un diámetro de 400 mm en la zona de trabajo Y 360 mm en los descansos, con zonas mecanizadas para el montaje de los rodamientos, poleas y acoplamientos.

Los extremos del eje incorporan chavetas para fijar el volante de inercia y la polea motriz, asegurando una transmisión segura y estable.

1.5.2.5 Pitman

El pitman es un componente clave en el mecanismo de trituración del chancador de mandíbula. Tiene como función transmitir el movimiento oscilante generado por el eje excéntrico a la mandíbula móvil, permitiendo así la compresión del material dentro de la cámara de chancado.

Se encuentra montado sobre el eje excéntrico mediante rodamientos, y se conecta directamente a la mandíbula móvil mediante pasadores de alta resistencia. Su movimiento alternativo permite que la mandíbula móvil se aproxime y se aleje de la mandíbula fija en cada ciclo, realizando la acción de trituración.

El pitman está construido en acero fundido, con un diseño que equilibra resistencia estructural y bajo peso relativo para mejorar la eficiencia del sistema. Su longitud total es de aproximadamente 3200 mm, y su sección transversal está optimizada para soportar esfuerzos alternantes de tracción y compresión.

En sus extremos incorpora alojamientos para los rodamientos del eje excéntrico y puntos de articulación con la mandíbula móvil. Posee también canales de lubricación lo que garantiza un funcionamiento correcto y una mayor vida útil.

1.5.2.6 Volante de inercia

El volante de inercia es un componente del sistema de transmisión del chancador de mandíbula cuya función principal es almacenar energía cinética durante el giro del eje excéntrico y liberarla durante la fase de compresión, estabilizando así el movimiento del sistema y reduciendo las fluctuaciones de carga sobre el motor eléctrico.

Este elemento está montado en uno de los extremos del eje excéntrico. Durante el funcionamiento, actúa como un regulador de velocidad, ayudando a mantener un régimen de operación constante pese a las variaciones en la resistencia del material a triturar.

El volante de inercia está fabricado en acero fundido, con una geometría optimizada para maximizar el momento de inercia. Su diámetro aproximado es de 1600 mm, con un espesor de 400 mm. Se acopla al eje mediante una chaveta.

El mantenimiento del volante de inercia se limita generalmente a la inspección visual de fisuras, verificación del apriete de la fijación al eje, y revisión del balanceo si se detectan vibraciones anormales durante la operación.

1.5.2.7 Sistema de ajuste

El sistema de ajuste del chancador de mandíbula tiene como función principal regular la apertura de descarga del equipo, también conocida como “setting”, lo que determina el tamaño máximo del mineral triturado.

El chancador incorpora un sistema de ajuste del tipo mecánico por cuñas, que actúa sobre la parte trasera de la mandíbula móvil, desplazándola hacia adelante o hacia atrás según sea necesario.

El rango de ajuste permitido por el sistema es de aproximadamente 3 pulgadas a 4 pulgadas (la planta lleva registro de este ajuste en pulgadas, a diferencia de los chancadores secundario y terciario los que se registran en milímetros). La operación de ajuste se realiza con el equipo detenido.

Los principales componentes de este sistema incluyen: cuñas de ajuste, placa deslizante, pernos de bloqueo, y el mecanismo de transmisión del desplazamiento.

1.5.2.8 Resortes de tensión

Los resortes de tensión cumplen una función esencial en el mecanismo de movimiento de la mandíbula móvil del chancador de mandíbula. Su objetivo principal es mantener la tensión adecuada sobre el conjunto móvil, asegurando que la mandíbula regrese a su posición original después de cada ciclo de trituración y que el sistema permanezca alineado durante el funcionamiento continuo.

Estos resortes están instalados en el extremo posterior del pitman, conectados a una varilla de tracción y a un soporte fijo del bastidor. Esta configuración permite absorber y compensar las variaciones de carga dinámica que ocurren durante el proceso de trituración.

Los resortes están fabricados en acero de alta resistencia, diseñados para soportar cargas cíclicas de tracción y compresión sin perder elasticidad. Tienen un diámetro de 200 mm, una longitud libre de 431 mm.

El sistema incluye dos resortes. Además de la varilla de tracción, el conjunto incorpora tuercas de ajuste para regular la precarga del resorte y topes mecánicos para limitar su desplazamiento.

1.5.2.9 Placa de seguridad (Toggle Plate)

La placa de seguridad o “toggle plate”, es un componente de protección mecánica diseñado para actuar como un fusible estructural en el sistema del chancador de mandíbula. Su función principal es transmitir el movimiento desde el pitman hacia la mandíbula móvil durante el funcionamiento normal, y romperse intencionalmente en caso de una sobrecarga excesiva, evitando así daños mayores al resto del equipo.

Esta placa se encuentra instalada entre el pitman y un punto fijo del bastidor o sistema de ajuste, formando parte del mecanismo articulado que convierte el movimiento rotacional del eje excéntrico en el movimiento oscilante de la mandíbula móvil. Al romperse, interrumpe el ciclo de trituración y permite al operador intervenir de forma segura.

La placa de seguridad está fabricada en acero ASTM 128, con características mecánicas específicamente diseñadas para ceder bajo una carga predeterminada. Sus dimensiones son 750 mm de largo, 1155 mm de ancho y 93 mm de espesor.

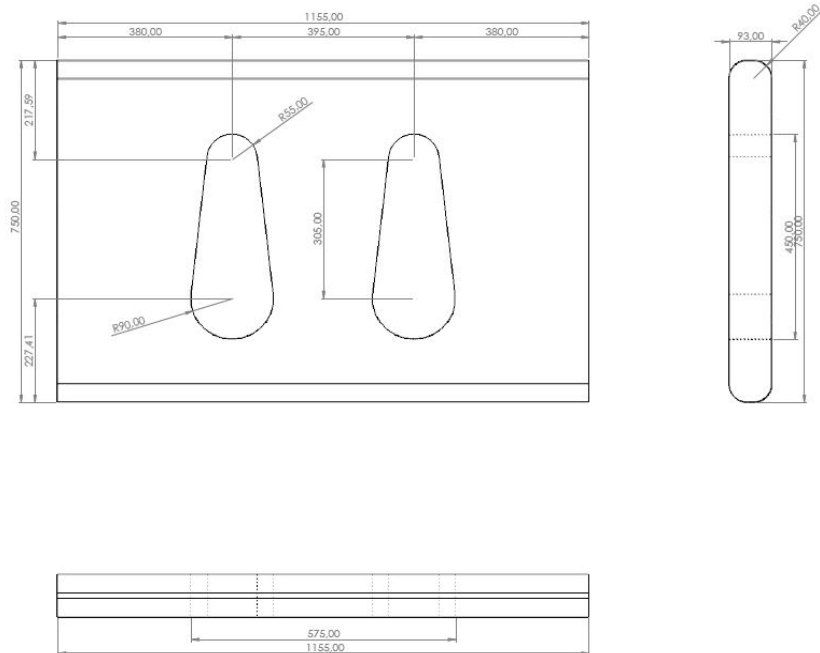


Figura 1.7: Placa de seguridad.

1.5.2.10 Rodamientos principales

Los rodamientos principales del chancador de mandíbula son componentes críticos que permiten la rotación del eje excéntrico con mínima fricción, soportando al mismo tiempo las cargas dinámicas generadas durante el proceso de trituración.

Estos rodamientos están ubicados en ambos extremos del eje excéntrico. Están diseñados para absorber cargas radiales elevadas y también cargas axiales.

Se utilizan rodamientos del tipo rodillo a rótula, fabricados en acero templado de alta precisión. Cada rodamiento tiene un diámetro interno de 360 mm, diámetro externo de 600 mm y ancho 243 mm.

Estos elementos están protegidos por sellos laberinto que evitan la entrada de polvo, agua o partículas contaminantes, y cuentan con un sistema de lubricación por grasa mediante líneas automáticas. La temperatura de operación no debe superar los 45°C en condiciones normales.

1.5.2.11 Sistema de lubricación

El sistema de lubricación del chancador de mandíbula cumple una función esencial en la operación continua del equipo, ya que permite reducir la fricción entre componentes móviles, disipar calor y prevenir el desgaste prematuro. Su diseño está enfocado en proteger especialmente los rodamientos principales del eje excéntrico, así como otros elementos como el pitman y bujes articulados.

Este sistema es automático, y utiliza como medio lubricante grasa, seleccionado en función de la carga, velocidad y condiciones ambientales de trabajo. El lubricante recomendado para este equipo es grasa EP2 mobil.

Entre los principales componentes del sistema se incluyen:

- Depósito o cámara de lubricante
- Bomba de lubricación

- Filtros y válvulas reguladoras
- Líneas de distribución y boquillas inyectoras
- Indicadores de presión y nivel

El sistema está diseñado para asegurar el suministro continuo de lubricante a todos los puntos críticos incluso durante la vibración intensa del chancador.

1.5.2.12 Sistema de transmisión

El sistema de transmisión del chancador de mandíbula primario tiene como función principal transferir la energía mecánica desde el motor eléctrico hasta el eje excéntrico del equipo, permitiendo así el movimiento oscilante de la mandíbula móvil y, por tanto, el proceso de trituración del mineral.

Este sistema está compuesto por un motor eléctrico, una polea motriz acoplada al eje del motor, una polea conducida fijada al extremo del eje excéntrico, y un conjunto de correas trapezoidales encargadas de conectar ambas poleas y transmitir la potencia de forma continua.

El motor utilizado tiene una potencia de 150 kW y opera a una velocidad nominal de 990 rpm. Las poleas están dimensionadas para proporcionar al eje excéntrico una velocidad de rotación de aproximadamente 235 rpm, optimizando la frecuencia de trituración y el rendimiento energético del equipo.

Cuenta con 8 correas trapezoidales 8V 3000 operan en paralelo, distribuyendo la carga de manera uniforme. Su tensión se regula mediante un sistema de base deslizante del motor, lo que permite realizar ajustes rápidos en caso de aflojamiento o reemplazo. El sistema de transmisión cuenta con un protector metálico de seguridad para evitar el contacto accidental con partes móviles.

1.5.3 Harnero secundario YAg140 7'x15'

El harnero modelo YAg140-2 (doble “deck”) es un equipo destinado a la clasificación del mineral chancado primariamente, y se ubica en la línea de proceso inmediatamente antes del chancador secundario de cono. Su función principal es separar el material previamente reducido en el chancador de mandíbula, permitiendo que las partículas con granulometría adecuada continúen hacia la etapa de molienda o almacenamiento, mientras que el material de mayor tamaño es derivado al chancador secundario para una nueva etapa de reducción.

Este modelo cuenta con dos niveles de cribado (doble “deck”), montados en una estructura metálica vibratoria que permite la separación simultánea en tres fracciones. La caja vibratoria está montada sobre resortes helicoidales de acero que absorben las vibraciones generadas por un sistema de eje excéntrico acoplado a un vibrador. Este vibrador se acciona mediante un motor eléctrico mediante transmisión por correas trapezoidales.

Tabla 1.3: Características principales harnero YAg140 7'x15'.

Parámetro	Especificación
Modelo	YAg140-2
Ancho útil de cribado	1400 mm
Número de pisos	2
Tipo de movimiento	Circular
Velocidad de vibración	730 – 970 rpm
Tipo de accionamiento	Motor eléctrico con correa en V
Tipo de resorte	Helicoidal de acero
Amplitud de vibración	Ajustable (mediante contrapesos)
Capacidad estimada	150 – 300 t/h
Tipo de malla	Metálica o poliuretano
Inclinación	15 – 20°

Los componentes principales del harnero secundario se detallan a continuación:

- Caja de cribado
- Vibrador
- Mallas de cribado
- Resortes helicoidales
- Sistema de transmisión
- Rodamientos
- Sistema de lubricación

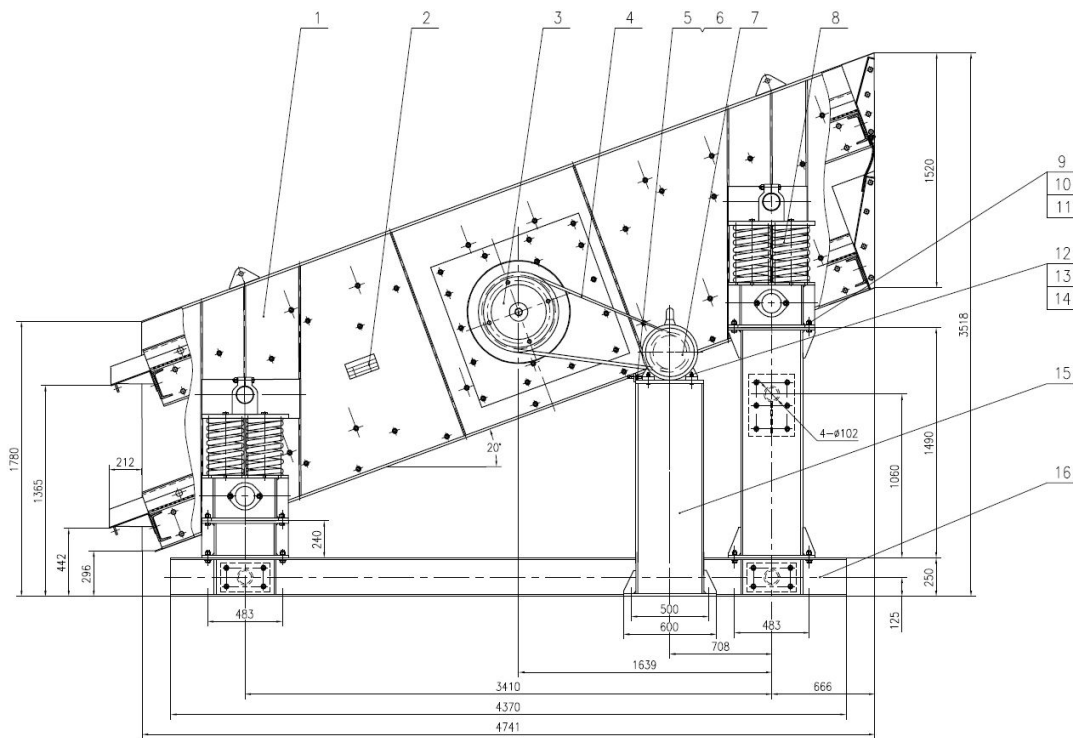


Figura 1.8: Harnero YAg140 7'x15'.

16	2YA2148.4	Support frame	1
15	2YA2148-2	Motor seat	1
14	GB93-87	Washer 14	4
13	GB6170-86	Nut M14	4
12	GB5782-86	Bolt M14X65	4
11	GB93-87	Washer 20	16
10	GB6170-86	Nut M20	16
9	GB5782-86	Bolt M20X60	16
8	2YA2148.3	Spring support	4
7	2YA2148.2	Motor Pulley	1
6	GB6170-86	Nut M16	2
5	2YA2148-1	Ajustment Bot	2
4	GB11544	V-Belt	4
3	YA140-2148	Vibrator	1
2		Nameplate	1
1	2YA2148.1	Screen box	1

Figura 1.9: Partes principales harnero YAg140 7'x15'.

1.5.3.1 Caja de cribado

La caja de cribado es el componente estructural principal del harnero vibratorio. Su función es soportar los pisos de cribado y transmitir el movimiento vibratorio necesario para clasificar el mineral según su tamaño.

Está fabricada en acero estructural soldado, con refuerzos internos que aseguran la rigidez del conjunto ante la carga dinámica producida por el vibrador y el paso continuo de material. Las dimensiones de la caja son 2858 mm de ancho, 4731 mm de largo y 3518 mm de alto.

En su interior se instalan las mallas de cribado, distribuidas en dos pisos (superior e inferior), permitiendo así la clasificación simultánea en tres fracciones de material. La inclinación de trabajo de la caja es de 20°.

La caja se encuentra montada sobre resortes helicoidales que aíslan la vibración del bastidor de soporte y permiten un movimiento oscilante uniforme. Además, está

equipada con refuerzos en los puntos de mayor desgaste y con protecciones contra impactos en la zona de alimentación.

1.5.3.2 Vibrador (Eje y Contrapesos)

El vibrador es el componente responsable de generar el movimiento oscilatorio de la caja de cribado del harnero. Su función es inducir una vibración circular mediante la rotación de un eje con masas excéntricas, transmitiendo energía mecánica a la estructura del harnero para facilitar la clasificación del mineral sobre las mallas.

Está compuesto por un eje rotativo montado sobre rodamientos y equipado con varios juegos de contrapesos excéntricos, cuya posición puede ser ajustada para variar la amplitud de vibración. El vibrador se encuentra instalado en la parte lateral de la caja de cribado, y está conectado a un motor eléctrico mediante un sistema de transmisión por correas trapezoidales.

El eje del vibrador está fabricado en SAE 4340, y los contrapesos están balanceados dinámicamente para evitar vibraciones indeseadas. El conjunto gira a una velocidad aproximada de 912 rpm.

El sistema cuenta con lubricación mediante aceite XMP 150 por salpicadura.

1.5.3.3 Mallas de cribado

Las mallas de cribado son los elementos encargados de realizar la separación granulométrica del material. Su función es permitir el paso del mineral de tamaño deseado a través de sus aberturas, mientras retienen las partículas de mayor tamaño para su recirculación o procesamiento posterior.

El modelo YAg140-2 está equipado con 2 niveles de cribado, lo que permite obtener hasta tres fracciones de material de manera simultánea. Cada piso está compuesto por varios módulos que se instalan en la caja de cribado mediante sistemas de fijación por pernos.

Los módulos están fabricados en caucho natural en el primer nivel y poliuretano en el nivel más bajo. La luz de los módulos superiores (tamaño de abertura) son de 65 mm de ancho y 65 mm de alto, las dimensiones del módulo entero son de 305 mm de ancho, 610 mm de alto y 65 mm de espesor. Los módulos inferiores tienen una abertura de 37 mm de ancho y 37 mm de alto, las dimensiones del módulo entero son de 305 mm de ancho, 305 mm de alto y 50 mm de espesor.

1.5.3.4 Resortes de soporte

Los resortes de soporte tienen como función principal aislar la vibración de la caja de cribado respecto a la estructura de base o fundación, permitiendo un movimiento oscilatorio controlado y reduciendo la transmisión de vibraciones al entorno.

Estos resortes están ubicados en los cuatro extremos de la caja de cribado, distribuyendo uniformemente su peso y facilitando su desplazamiento libre durante el funcionamiento. El equipo cuenta con 8 resortes.

Los resortes son del tipo helicoidales cilíndricos, fabricados en acero para muelles. Tienen una altura libre aproximada de 350 mm y un diámetro de 165 mm.

Cada resorte se encuentra montado entre un asiento inferior (sobre el bastidor de base) y un alojamiento superior fijo a la estructura de la caja. El diseño permite una fácil remoción y reemplazo en caso de fatiga o deformación.

1.5.3.5 Sistema de transmisión

El sistema de transmisión del harnero vibratorio es el encargado de transferir la energía mecánica generada por el motor eléctrico al eje del vibrador, permitiendo así el movimiento oscilatorio de la caja de cribado.

Este sistema está compuesto por un motor eléctrico montado sobre una base ajustable, una polea motriz acoplada al eje del motor, una polea conducida montada en

el eje del vibrador, y un juego de correas trapezoidales que conectan ambas poleas. También el sistema cuenta con un protector de seguridad para las correas y poleas.

El motor tiene una potencia de 22 kW y opera a una velocidad nominal de 1475 rpm. Las poleas están dimensionadas para entregar al vibrador una velocidad de rotación de aproximadamente 954 rpm, la cual determina la frecuencia de vibración de la caja cribante.

Las correas utilizadas son del tipo trapezoidal SPC 3150 de dimensiones 22x18x3150 mm y trabajan en paralelo 4 correas, garantizando una transmisión de potencia estable y evitando deslizamientos.

1.5.3.6 Rodamientos del vibrador

Los rodamientos del vibrador son componentes fundamentales del harnero vibratorio, ya que permiten la rotación continua del eje excéntrico, soportando las cargas dinámicas generadas por las masas desequilibradas y transmitiendo la vibración necesaria a la caja de cribado.

Estos rodamientos están alojados dentro del cuerpo del vibrador y deben soportar altas cargas radiales, combinadas con condiciones severas de vibración, polvo y variaciones de temperatura. Por esta razón, se utilizan rodamientos del tipo rodillo a rótula.

Los rodamientos son del tipo rodillo a rótula están fabricados en acero templado de alta resistencia y poseen un diámetro interior de 140 mm, un diámetro exterior de 250 mm y un ancho de 88 mm. Se montan sobre el eje del vibrador con ajuste de interferencia y son retenidos mediante anillos de seguridad.

La lubricación de estos rodamientos es por aceite. El harnero cuenta con un sistema de lubricación automática, y utiliza lubricante del tipo EP2.

1.5.4 Chancador Sanland SH220

El chancador de cono es un equipo utilizado en la etapa secundaria del proceso de conminución mineral, diseñado para reducir aún más el tamaño de las partículas previamente chancadas. Funciona mediante la compresión del material entre un elemento móvil llamado manto y un elemento fijo denominado cóncavo. A diferencia del chancador de mandíbula, en el chancador de cono ambos elementos son superficies curvadas, lo que permite una trituración continua y más eficiente.

El principio de funcionamiento se basa en el movimiento excéntrico del eje principal, que provoca un desplazamiento circular del manto dentro del cóncavo. Esta acción genera una trituración por compresión y fricción en todo el perímetro de la cámara de chancado, lo que da como resultado una fragmentación progresiva del mineral.

El chancador de cono permite ajustar la granulometría del producto mediante un sistema hidráulico.

A continuación, se enumeran sus componentes principales:

- Eje principal
- Cabezal de trituración
- Manto
- Cóncavo
- Anillo de ajuste
- Sistema hidráulico de ajuste y protección
- Sistema de lubricación
- Sistema de transmisión

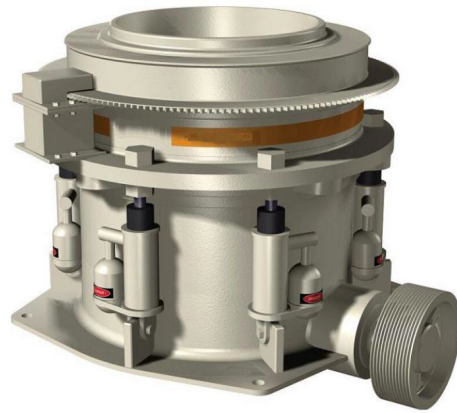


Figura 1.10: Chancador Sanland SH220.

1.5.4.1 Eje principal

El eje principal es uno de los componentes estructurales y funcionales más importantes del chancador de cono. Su función principal es servir de soporte al conjunto del cabezal de trituración (manto) y transmitirle el movimiento oscilatorio generado por la excéntrica, permitiendo así la compresión del mineral contra el cóncavo dentro de la cámara de chancado.

Este eje está montado de forma vertical en el centro del equipo, con su parte inferior alojada en un conjunto de rodamientos de empuje y su parte superior conectada mecánicamente al cabezal de trituración. A diferencia de otros ejes, el eje principal no gira libremente sobre su eje, sino que describe un movimiento pendular al ser oscilado por la rotación de la excéntrica que lo rodea.

Está fabricado en acero SAE4340, tratado térmicamente para resistir las cargas cíclicas de compresión, fricción y desalineación.

1.5.4.2 Cabezal de trituración

El cabezal de trituración es el componente móvil central del chancador de cono. Su función principal es alojar el manto y ejecutar el movimiento oscilatorio dentro del

cóncavo, permitiendo así la compresión progresiva del mineral en la cámara de trituración.

Este cabezal está montado sobre el eje principal y es accionado indirectamente por el manguito excéntrico, que lo obliga a describir una trayectoria circular u ovalada. Durante el ciclo de trabajo, el cabezal se aproxima y se aleja del cóncavo de forma continua, lo que produce la reducción gradual del tamaño del mineral hasta alcanzar la granulometría deseada en la descarga.

El cuerpo del cabezal está construido en acero fundido de alta resistencia, con superficies mecanizadas que permiten el montaje preciso del manto y su contacto con los asientos cónicos del eje principal. La parte superior del cabezal incluye una cavidad cónica para alojar el revestimiento (manto), que se fija mediante un sistema de anillo de sujeción y tornillos de bloqueo.

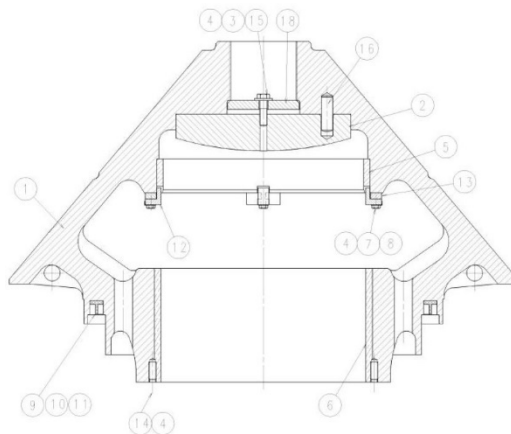


Figura 1.11: Cabezal de trituración de chancador Sanland SH220.

1.5.4.3 Manto

El manto es el revestimiento del cabezal de trituración en la trituradora de cono, cuya función principal es resistir el desgaste por fricción y compresión al estar en contacto directo con el mineral durante el proceso de conminución. Este componente

transmite la presión ejercida por el cabezal de trituración al mineral, provocando su reducción de tamaño contra el cóncavo.

Está fabricado en acero al manganeso 18%, con propiedades que le permiten soportar altas cargas de impacto y condiciones abrasivas extremas. Su diseño incluye una superficie cónica externa que se adapta al cabezal y una cara interna que define parte de la cámara de trituración.

El manto se fija al cabezal mediante un sistema de sujeción mecánica que consiste en un anillo de bloqueo y pernos de fijación.

El manto cuenta con un diámetro de abertura superior de 265 mm, una altura de 558 mm y un diámetro inferior de 1160 mm.

Debido a su exposición directa al desgaste, el manto es considerado un componente consumible y requiere monitoreo constante.

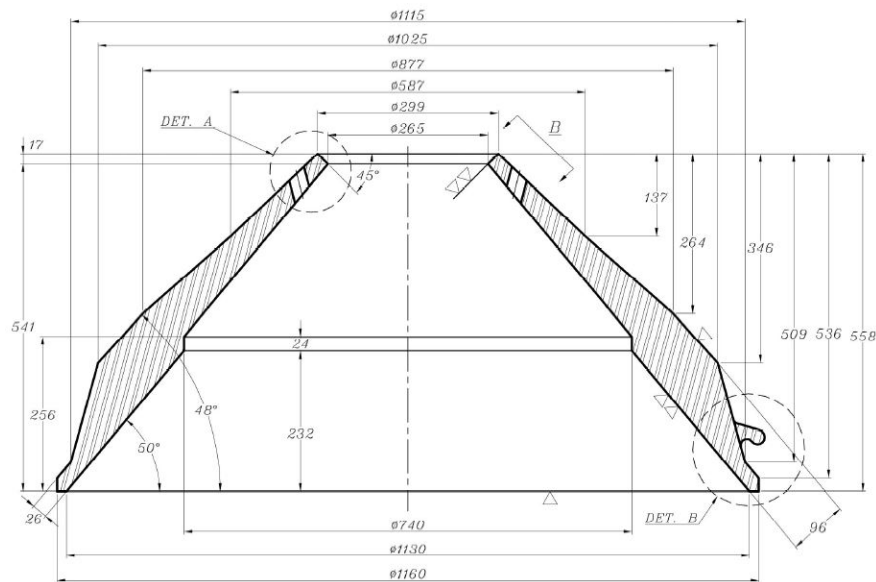


Figura 1.12: Manto chancador Sanland SH220.

1.5.4.4 Cóncavo

El cóncavo es el revestimiento fijo que recubre la parte interna del bastidor superior de la trituradora de cono. Su función principal es formar, junto con el manto, la cámara de trituración en la que se produce la reducción del tamaño del mineral por compresión. Actúa como la superficie estática contra la cual se presiona el mineral mediante el movimiento oscilatorio del manto.

Está fabricado en acero al manganeso 18%, y diseñado específicamente para soportar condiciones extremas de abrasión y carga por impacto.

El cóncavo se fija al bastidor superior mediante un sistema de sujeción que incluye anillos de retención, segmentos atornillados y uniones con resina epóxica.

Las dimensiones del cóncavo un diámetro de apertura superior de 686 mm, una altura útil de 470 mm y un diámetro inferior de 1142 mm.

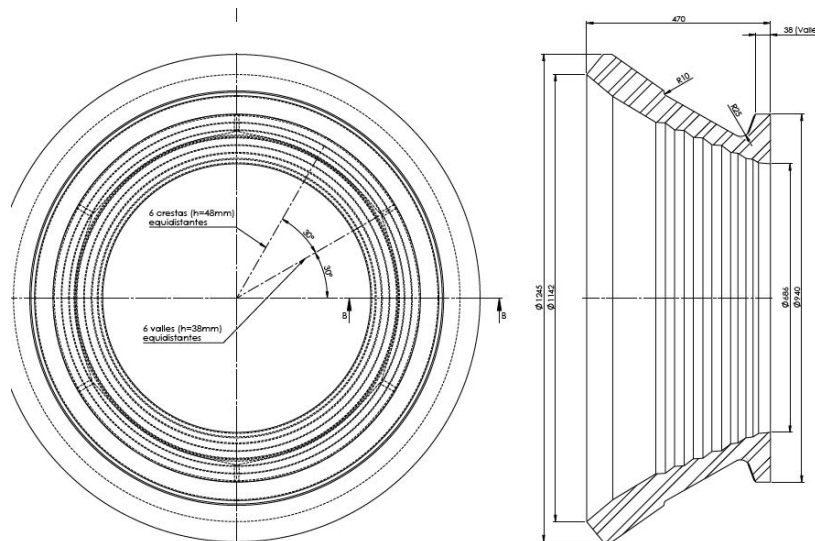


Figura 1.13: Cóncavo chancador Sanland SH220.

1.5.4.5 Anillo de ajuste

El anillo del sistema de ajuste es una parte fundamental del chancador de cono. Tiene como función principal permitir la regulación de la apertura de descarga (setting) mediante el desplazamiento vertical del bastidor superior, lo que a su vez modifica la distancia entre el manto y el cóncavo pudiendo variar entre los 28 mm y 35 mm. Además, este anillo sirve como base de montaje para el revestimiento del cóncavo y está involucrado en el mecanismo de protección contra sobrecargas.

Este componente forma parte de un sistema de ajuste del tipo mecánico mediante roscas.

El anillo está fabricado en acero fundido, diseñado para soportar las elevadas cargas axiales generadas durante la trituración. La superficie interna incluye una rosca helicoidal de gran paso, que permite realizar ajustes precisos en la altura del conjunto cóncavo.

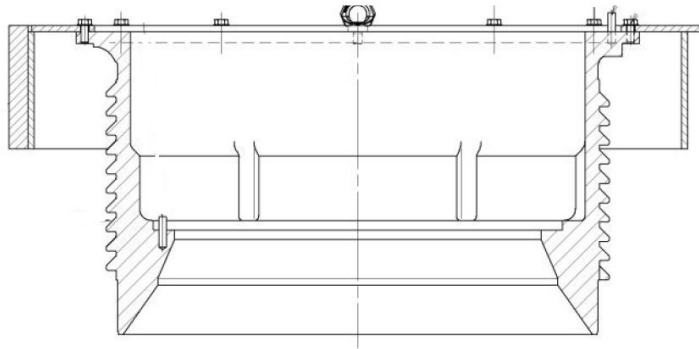


Figura 1.14: Anillo de ajuste chancador Sanland SH220.

1.5.4.6 Sistema hidráulico de ajuste y protección

El sistema hidráulico del chancador de cono cumple funciones esenciales tanto operativas como de protección del equipo. Está diseñado para realizar ajustes precisos del puerto de descarga, bloquear y desbloquear el cono fijo, limpiar la cámara de

trituration en caso de obstrucciones, y proteger el equipo ante el paso de materiales intriturbables.

Este sistema está compuesto por dos subsistemas principales: el circuito de control y el circuito de potencia. Los componentes clave incluyen: bomba hidráulica, motor eléctrico, acumuladores, cilindros de ajuste, cilindros de seguridad, válvulas solenoides, válvulas de retención, válvulas de seguridad, sensores de presión, presostatos y una unidad de control central con panel táctil.

Las funciones principales del sistema son:

- **Ajuste del puerto de descarga:** permite regular la separación entre el manto y el cóncavo mediante el desplazamiento del cono fijo. Se realiza con los cilindros hidráulicos al disminuir temporalmente la presión del sistema de bloqueo a unos 15 bar. Luego, se vuelve a presurizar hasta alcanzar el valor de bloqueo definido (190 bar).
- **Bloqueo hidráulico:** fija el cono superior en posición mediante un conjunto de cilindros hidráulicos que operan a presiones de hasta 190 bar. El sistema puede funcionar en modo manual o automático y asegura que no haya movimiento del cono durante la operación.
- **Limpieza de la cámara de trituración:** en caso de atasco por sobrecarga o material intriturable, el sistema reduce la presión del circuito de bloqueo y activa los cilindros de liberación para abrir la cámara y permitir la descarga del material.
- **Protección contra sobrecargas:** el sistema permite el paso de materiales no triturables sin dañar el equipo, descargando la presión a través de válvulas de seguridad cuando se exceden los valores límite del sistema.

Las presiones típicas de operación son:

- Presión de bloqueo: 190 bar
- Presión de cilindros de liberación 115 bar

El sistema puede ser operado en modo manual o automático, tanto de forma local (desde el gabinete de control) como remota (desde una interfaz de pantalla táctil). La estación hidráulica cuenta con alarmas de nivel, temperatura y presión, además de controles para la bomba, el ventilador de refrigeración, y el sistema de calefacción del aceite.

1.5.4.7 Sistema de transmisión

El sistema de transmisión del chancador de cono tiene como función principal transferir la energía mecánica generada por el motor eléctrico hacia el conjunto del eje excéntrico (o excéntrica), permitiendo así el movimiento oscilatorio del cabezal de trituración y la consecuente reducción de tamaño del mineral.

Este sistema está compuesto por un motor eléctrico montado sobre una base ajustable, una polea motriz conectada al eje del motor, una polea conducida montada sobre el contra eje, y un conjunto de correas trapezoidales que conectan ambas poleas. Este conjunto incluye además un protector metálico para seguridad operativa.

El motor utilizado en este equipo es del tipo jaula de ardilla, con una potencia nominal de 220 kW, una tensión de trabajo de 380 V y una velocidad nominal de 1490 rpm. El motor está acoplado mecánicamente al sistema mediante un conjunto de poleas de diámetro 410 mm (motriz) y 640 mm (conducida), calculadas para obtener una velocidad final de giro del eje excéntrico entre 950 y 970 rpm.

Las correas utilizadas son del tipo trapezoidal SPC 5000 de dimensiones 22x18x5000 mm y trabajan 10 correas en paralelo para distribuir uniformemente la carga. La tensión de las correas se ajusta desplazando la base del motor mediante pernos deslizantes, asegurando la alineación de las poleas y evitando deslizamientos.

1.5.4.8 Sistema de lubricación

El sistema de lubricación del chancador de cono tiene como objetivo principal reducir la fricción entre los componentes móviles, disipar el calor generado durante la operación, evitar el desgaste prematuro y prolongar la vida útil del equipo.

Este sistema es de tipo circulación forzada a presión y cuenta con una estación de lubricación autónoma que incorpora una bomba de aceite, motor eléctrico, filtro de aceite, intercambiador de calor, presostatos, termostatos, sensores de flujo y un depósito de almacenamiento. El aceite se impulsa desde el estanque hacia los puntos de lubricación del chancador, que incluyen: bujes del manguito excéntrico, rodamientos del piñón de transmisión y superficies de apoyo del bastidor.

El aceite utilizado es del tipo XMP 150, con una capacidad del sistema de 150 litros. La presión de trabajo del sistema es de aproximadamente 115 bar. El sistema cuenta con un serpentín que regula la temperatura del lubricante mediante aire forzado.

El panel de control del sistema monitorea continuamente la presión, el flujo y la temperatura. Si alguno de estos parámetros se sale de rango, se activa una alarma visual o sonora, e incluso puede provocar la detención automática del chancador para evitar daños mayores.

1.5.5 Harnero terciario TRIO 8202

El harnero vibratorio TRIO modelo 8202 es un equipo diseñado para la clasificación de material mineral mediante separación por tamaño, utilizando movimiento vibratorio sobre superficies inclinadas. Este modelo cuenta con una configuración de dos pisos (decks) y utiliza un sistema de vibración de doble eje excéntrico, que proporciona un movimiento eficiente y uniforme del material sobre las mallas.

El equipo presenta una superficie efectiva de cribado de 8 pies por 20 pies (2400 x 6000 mm), y está construida con placas laterales de acero laminado de 8 mm, reforzadas con placas de 10 mm en la zona del mecanismo vibrador. Las estructuras de

los decks están fabricadas en una sola pieza, y unidas mediante pernos tipo Huck para asegurar integridad estructural y resistencia a la fatiga.

El sistema vibratorio consta de dos ejes de acero forjado, mecanizados con precisión para generar excentricidad. La amplitud nominal del movimiento es de 12 mm (7/16"), ajustable mediante contrapesos. La frecuencia de operación se encuentra en el rango de 800 a 860 rpm, con un ángulo de inclinación operativo entre 12° y 20°.

El equipo utiliza rodamientos de rodillos esféricos autoalineables, lubricados por sistema de aceite. El accionamiento se realiza mediante dos motores eléctricos de 25 HP (18,5 kW) cada uno, conectados a través de transmisión por correas trapezoidales. Los motores están montados sobre bases pivotantes tipo ROSTA, que permiten ajuste de tensión y absorción de vibraciones.

Entre sus componentes principales se encuentran:

- Caja de cribado
- Decks
- Sistema de doble eje vibrador
- Rodamientos
- Sistema de lubricación
- Resortes
- Motores eléctricos
- Poleas y correas trapezoidales

1.5.5.1 Caja de cribado

La caja de cribado es el componente estructural principal del harnero vibratorio TRIO 8202. Su función es alojar y soportar los decks de cribado, así como todos los elementos del sistema vibratorio. Es la estructura encargada de transmitir el movimiento vibratorio al material, permitiendo su separación por tamaño a través de las mallas instaladas.

Está construida en forma monolítica a partir de placas de acero laminado de alta resistencia. Las uniones entre placas se realizan mediante pernos estructurales tipo Huck, lo que garantiza una fijación sin juego y una alta resistencia a la fatiga por vibración.

La geometría de la caja está diseñada con una inclinación operativa ajustable entre 12° y 20°, optimizando la capacidad de procesamiento según el tipo de material.

La caja está montada sobre resortes helicoidales de acero, ubicados en las esquinas, que permiten su desplazamiento libre en régimen vibratorio mientras aíslan la estructura base del resto de la planta. En su parte superior incorpora una tolva de alimentación revestida y en los laterales, guarderas de caucho que protegen las paredes del contacto con el material.

1.5.5.2 Decks

Los decks de cribado son las superficies inclinadas sobre las cuales se instalan las mallas que permiten la separación del material por tamaño en el harnero vibratorio TRIO TIO8202. Este modelo cuenta con dos pisos (double-deck), lo que permite una clasificación simultánea en tres fracciones granulométricas distintas (sobre tamaño, producto y bajo tamaño).

Cada deck está construido como una estructura monobloque reforzada, de geometría camberada (curva hacia abajo), lo que favorece un mejor contacto entre el material y las mallas, y un mayor avance del material fino hacia la zona de paso. Están fabricados en acero estructural y firmemente fijados a los laterales de la caja de cribado mediante pernos estructurales.

Los decks están diseñados para montar distintos tipos de medios de cribado, incluyendo:

- Mallas metálicas tejidas
- Mallas de poliuretano o goma
- Planchas perforadas

- Mallas autolimpiantes

1.5.5.3 Ejes vibradores

El sistema vibrador del harnero está compuesto por un conjunto de dos ejes excéntricos sincronizados, cuya función principal es generar el movimiento vibratorio que permite el desplazamiento y la clasificación del mineral sobre los decks de cribado.

Cada eje está fabricado en acero forjado, y presenta zonas mecanizadas para montar los rodamientos y los contrapesos excéntricos. Los ejes se instalan en la parte superior de la caja de cribado y están conectados entre sí mediante engranajes sincronizados, lo que garantiza un movimiento vibratorio uniforme y balanceado.

El giro de los ejes es impulsado por dos motores eléctricos a través de un sistema de poleas y correas trapezoidales. Los contrapesos montados en cada extremo de los ejes permiten ajustar la amplitud máxima de vibración de 9.5 mm, mediante la adición o retiro de masas de balanceo.

La frecuencia de operación del sistema vibrador está en el rango de 800 a 860 rpm.

1.5.5.4 Sistema de lubricación

El sistema de lubricación del harnero cumple una función crítica al reducir la fricción, disipar el calor y prolongar la vida útil de los rodamientos del sistema vibrador. Dado que los ejes vibradores están sometidos a cargas dinámicas elevadas y vibración constante una lubricación eficiente es esencial para evitar fallas no esperadas.

Este modelo está equipado con un sistema de lubricación por circulación de aceite, el cual es accionado por una bomba. El aceite es distribuido a los rodamientos principales mediante conductos internos y externos, y retorna al depósito para ser enfriado y filtrado.

El sistema incluye los siguientes componentes clave:

- Bomba de aceite
- Filtros de aceite
- Depósito de almacenamiento
- Enfriador
- Líneas de distribución
- Indicadores de presión, flujo y temperatura

El tipo de lubricante utilizado suele ser XMP 150. La temperatura de operación debe mantenerse entre 35°C y 45°C.

1.5.5.5 Resortes de soporte

Los resortes de soporte del harnero vibratorio cumplen la función esencial de aislar las vibraciones generadas por el sistema vibrador, evitando que se transmitan a la estructura base o a otras áreas de la planta. Al mismo tiempo, proporcionan estabilidad y permiten el movimiento oscilatorio controlado de la caja de cribado.

El equipo cuenta con 12 resortes, donde se ubican 6 resortes en cada base fija en las esquinas del equipo, 3 resortes de 175 mm de diámetro y en su interior un resorte central de 115 mm de diámetro. Estos resortes trabajan bajo compresión y están fabricados en acero aleado de alta resistencia.

1.5.5.6 Motores eléctricos

El harnero vibratorio TRIO TIO8202 está equipado con dos motores eléctricos, cuya función principal es entregar la energía mecánica necesaria para accionar el sistema de vibración a través de un conjunto de poleas y correas trapezoidales. Estos motores están instalados de forma sincronizada en ambos lados del equipo para asegurar un movimiento vibratorio balanceado y uniforme.

Cada motor tiene una potencia nominal de 18,5 kW, operando a una tensión de 380 V y una frecuencia de 50 Hz. Su velocidad nominal es de 1470 rpm, adecuada para acoplarse con la relación de poleas y lograr la velocidad deseada de los ejes vibradores.

Los motores están montados sobre bases pivotantes tipo ROSTA, que permiten ajustar automáticamente la tensión de las correas y, al mismo tiempo, amortiguar las vibraciones transmitidas desde el sistema vibrador. Esta configuración reduce el desgaste prematuro de los componentes de transmisión.

Cada motor está protegido por un sistema de guardas metálicas.

1.5.5.7 Sistema de transmisión

El sistema de transmisión del harnero vibratorio tiene como función principal transferir la energía mecánica desde los motores eléctricos hacia el sistema vibrador, permitiendo el giro de los ejes excéntricos y generando el movimiento vibratorio necesario para la clasificación del material.

Este sistema está compuesto por:

- Poleas conducidas acopladas a los extremos del eje vibrador
- Juegos de correas trapezoidales en configuración múltiple
- Bases pivotantes tipo ROSTA para tensado automático
- Guarderas metálicas de seguridad para correas poleas

Las poleas están dimensionadas con 370 mm de diámetro la motriz y 680 mm de diámetro la conducida generando una relación de transmisión adecuada que permite alcanzar una velocidad final de 800 rpm en los ejes vibradores. El número de correas utilizadas por motor son 4.

Las correas son del tipo trapezoidal C128, y están diseñadas para resistir altas cargas dinámicas y condiciones ambientales adversas. Su tensión se mantiene de forma constante mediante las bases pivotantes, que permiten un ajuste automático al elongamiento natural de las correas.

1.5.6 Chancador Trio Tc – 66

El chancador de cono TRIO modelo TC 66 es un equipo diseñado para la trituración secundaria o terciaria de minerales en plantas concentradoras. Opera mediante la compresión del material entre un manto móvil y un cóncavo fijo, generando una reducción progresiva del tamaño del mineral en una cámara de trituración cónica.

Este equipo pertenece a la familia de chancadores de cono de eje principal vertical, con manguito excéntrico giratorio, y está diseñado para operar en condiciones de alta carga y exigencia continua. Su configuración permite ajustes precisos del tamaño de descarga (setting), protección automática contra sobrecargas y mantenimiento optimizado mediante sistemas hidráulicos y de lubricación presurizada.

El TRIO TC 66 cuenta con una estructura robusta y modular que permite fácil acceso a componentes críticos. Sus principales funciones incluyen:

- Trituración eficiente de materiales duros abrasivos
- Regulación hidráulica del tamaño de salida
- Protección automática contra intriturbables
- Monitoreo de temperatura

El diseño incluye un sistema hidráulico para ajuste de cámara y alivio de sobrecargas, un sistema de lubricación a presión con enfriamiento, un conjunto de transmisión mecánica por engranajes (piñón–corona), y componentes internos revestidos con aleaciones resistentes al desgaste.

Entre los componentes principales del equipo se encuentran los siguientes:

- Eje principal
- Cabezal de trituración
- Excéntrico
- Anillo de ajuste
- Manto superior e inferior
- Revestimiento del tazón

- Sistema hidráulico
- Sistema de lubricación

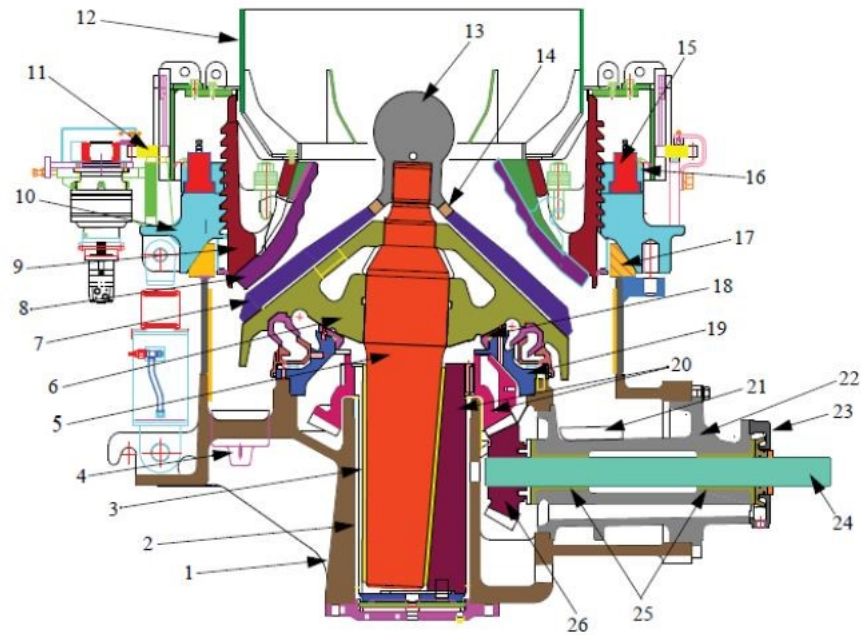


Figura 1.15: Chancador Trio TC - 66 en corte y componentes principales.

Tabla 1.4: Componentes principales chancador Trio TC – 66.

1	Carcasa principal del triturador	14	Anillo de corte
2	Buje exterior del excéntrico	15	Cilindro de traba
3	Buje interior del excéntrico	16	Anillo de traba
4	Protector del brazo de la carcasa	17	Asiento con revestimiento
5	Eje principal	18	Revestimiento de la quicionera
6	Porta - manto	19	Quicionera
7	Manto	20	Excéntrico con corona
8	Cóncavo	21	Protector de caja del contra - eje
9	Porta - cóncavo	22	Caja del contra - eje
10	Anillo de regulación	23	Conjunto espaciador y sello del contra - eje
11	Corona de regulación	24	Contra - eje
12	Tolva de alimentación	25	Bujes
13	Tuerca eje principal	26	Piñón del contra - eje

1.5.6.1 Eje principal

El eje principal del chancador de cono es un componente estructural crítico, cuya función principal es soportar el cabezal de trituración y transmitir el movimiento oscilatorio generado por el manguito excéntrico al conjunto del manto. Este movimiento permite la compresión continua del mineral contra el cóncavo, efectuando la reducción de tamaño del material.

Está fabricado en acero forjado y tiene un mecanizado de precisión para soportar las elevadas cargas de compresión y las condiciones de vibración del proceso. Posee una sección superior cónica que permite el montaje del cabezal y del manto.

El eje incorpora una superficie de asiento para bujes, así como canales internos para la lubricación.

1.5.6.2 Cabezal de trituración

El cabezal de trituración del chancador es el componente móvil que, montado sobre el extremo superior del eje principal, sostiene el revestimiento denominado manto y realiza el movimiento oscilatorio dentro de la cámara de trituración. Su función principal es comprimir el mineral contra el cóncavo, produciendo la conminución progresiva del material.

Este cabezal está diseñado como una pieza maciza de acero fundido de alta resistencia, con geometría cónica externa y superficies de contacto mecanizadas con precisión para asegurar un ajuste correcto con el eje principal y el manto.

El cabezal transmite el movimiento excéntrico inducido por el manguito excéntrico, realizando una trayectoria circular dentro del cóncavo. Esta oscilación controlada genera la trituración continua del mineral entre las superficies del manto y del revestimiento del tazón.

La parte inferior del cabezal encaja en una cavidad esférica del manguito excéntrico e incluye un buje de bronce para reducir el desgaste por contacto.

1.5.6.3 Manguito excéntrico

El manguito excéntrico es un componente cilíndrico giratorio, diseñado para generar el movimiento oscilatorio del eje principal y del conjunto del cabezal de trituración. Tiene como función principal convertir el movimiento rotacional proporcionado por el sistema de engranajes (piñón–corona) en un movimiento excéntrico del eje, lo que permite la trituración continua del material en la cámara cónica.

Está fabricado en acero fundido templado, y presenta superficies internas mecanizadas para el alojamiento del eje principal. En la parte inferior, el manguito incorpora una cavidad esférica para el apoyo del cabezal de trituración y un buje antifricción.

El manguito excéntrico recibe el giro desde el engranaje corona que está montado externamente y solidario a su carcasa. El contacto con el engranaje piñón permite controlar la velocidad de giro del conjunto, generalmente en el rango de 550 a 570 rpm.

1.5.6.4 Anillo de ajuste

El anillo de ajuste es una pieza estructural clave que permite modificar la separación entre el manto y el cóncavo, controlando así la granulometría del producto final. Este componente forma parte del conjunto superior del chancador, uniendo el tazón (bowl) con el bastidor principal mediante una interfaz roscada.

El anillo de ajuste presenta una geometría cilíndrica con roscas helicoidales en su cara externa, que se acoplan con roscas internas del bastidor superior. El ajuste se realiza mediante la rotación del anillo, lo que provoca el desplazamiento vertical del

tazón. Esta rotación es asistida por el sistema hidráulico que acciona engranajes periféricos acoplados al anillo.

Está construido en acero fundido y diseñado para soportar cargas axiales elevadas, fricción por ajuste y presión de apriete transmitida desde los cilindros hidráulicos de fijación.

El anillo también cuenta con topes mecánicos y sistemas de bloqueo para evitar giros no deseados durante la operación. Su diseño permite el desmontaje del conjunto superior del chancador para mantenimiento o cambio de revestimientos.

1.5.6.5 Mantos superior e inferior

Los mantos superior e inferior son revestimientos de desgaste instalados sobre el cabezal de trituración del chancador de cono. Su función principal es transmitir la fuerza de trituración generada por el cabezal hacia el mineral, mediante una superficie de compresión contra el revestimiento del tazón (cóncavo), permitiendo así la conminución progresiva del material en la cámara de trituración.

Ambos mantos conforman una sola superficie cónica continua, pero están divididos en dos piezas (superior e inferior) para facilitar su instalación, manipulación y reemplazo. El manto inferior cubre la porción principal del cabezal y se ajusta sobre un asiento cónico mecanizado, mientras que el manto superior actúa como extensión del revestimiento, completando la cobertura hasta el extremo del cabezal.

Están fabricados en acero al manganeso 18%, con tratamiento térmico para soportar abrasión severa, compresión cíclica y altas temperaturas.

Los mantos se fijan al cabezal mediante un sistema de anillo de retención y compuestos de sujeción de alta resistencia.

Estos componentes están diseñados como elementos consumibles y reemplazables, ya que están en contacto directo con el material triturado. El desgaste progresivo afecta la apertura de descarga (setting) y la granulometría del producto final.

1.5.6.6 Revestimiento del tazón (“Bowl liner”)

El revestimiento del tazón, también conocido como “bowl liner”, es un componente de desgaste fijo instalado en la cara interna del tazón (bowl) del chancador de cono. Su función principal es formar la superficie estática contra la cual se comprime el mineral, en conjunto con el manto móvil, permitiendo la reducción progresiva del tamaño del material en la cámara de trituración.

Este revestimiento presenta una geometría cónica inversa con respecto al manto y está fabricado en acero al manganeso 18% como todos los revestimientos de los equipos mencionados.

El bowl liner se monta sobre un asiento mecanizado dentro del tazón, mediante un sistema de cuñas, anillos de sujeción y compuesto de anclaje, asegurando un contacto firme durante toda la operación.

Este componente es crítico para la eficiencia del proceso de conminución, ya que define una de las dos superficies de trituración. Con el tiempo, el desgaste modifica la apertura de descarga y puede comprometer la forma del producto.

1.5.6.7 Sistema hidráulico

El sistema hidráulico del chancador de cono TRIO TC 66 está diseñado para ejecutar funciones críticas de operación y protección del equipo, incluyendo la fijación del anillo de ajuste, la liberación de la cámara de trituración ante sobrecarga, la traba del porta-cóncavo y el ajuste hidráulico de la abertura de salida.

Este sistema opera mediante una unidad de potencia hidráulica autónoma, que incluye un motor eléctrico, una bomba hidráulica, acumuladores presurizados con nitrógeno, válvulas solenoides, válvulas de alivio, válvulas direccionales y manómetros, todos montados en un gabinete metálico compacto dividido en compartimentos hidráulico y eléctrico.

1.5.6.8 Sistema de lubricación

El sistema de lubricación del chancador de cono tiene como función principal reducir la fricción entre los componentes críticos en movimiento, disipar el calor generado durante la operación y proteger las superficies metálicas contra el desgaste, la oxidación y la corrosión.

Este sistema es del tipo circulación forzada a presión, y está compuesto por un conjunto de elementos que aseguran un flujo constante de aceite lubricante hacia los puntos clave del chancador, el buje del manguito excéntrico, los engranajes del sistema de transmisión y otros elementos rotativos.

El sistema incluye:

- Tanque de reserva de aceite con indicador de nivel
- Bomba y motor eléctricos para recirculación
- Filtro de aceite con válvula de derivación
- Radiador de aceite
- Calentador de inmersión controlado por termostato
- Válvulas de escape, unidireccionales y de ajuste
- Presostatos, termostatos y manómetros de control
- Interruptores de nivel, temperatura y flujo

El aceite utilizado es del tipo ISO VG 150, con propiedades EP (“Extreme Pressure”), aditivos antidesgaste, resistencia a la oxidación, alta estabilidad térmica y bajo punto de formación de espuma.

Durante el arranque, el aceite debe tener una temperatura mínima de 27°C. El calentador se activa automáticamente cuando la temperatura baja de este umbral, y se detiene al superarlo. La operación óptima se mantiene entre 38°C y 43°C, y si el aceite de retorno supera los 54°C, se debe detener la operación.

A continuación, se detallan las condiciones críticas del sistema:

- Presión de aceite < 7 psi
- Temperatura de aceite < 16°C o > 54°C
- Diferencia de temperatura entre suministro y retorno > 21°C
- Presión diferencial en el filtro > 25 psi
- Nivel de aceite bajo o flujo de aceite nulo

El sistema cuenta con protecciones automáticas, alarmas visuales y sonoras, así como enclavamientos que impiden la operación del chancador si no se cumplen las condiciones de lubricación establecidas.

2. CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS DEL MANTENIMIENTO

2.1 Concepto del mantenimiento

El mantenimiento es el sustantivo correspondiente al verbo mantener. La función concreta de mantenimiento es sostener la funcionalidad y el cuerpo de un objeto o aparato productivo para que cumpla su función de producir bienes o servicios. Estos aparatos no son más que los objetos que genera la ingeniería en sus diferentes versiones. Por ejemplo, la ingeniería mecánica con sus máquinas; la ingeniería civil con edificaciones, puentes, carreteras, instalaciones físicas; la ingeniería eléctrica con sus sistemas de generación o transmisión eléctrica; la ingeniería electrónica con sus sistemas y aparatos electrónicos, etc. (Parra, Carlos 2015)

Durante los últimos veinte años, el Mantenimiento ha cambiado, quizás más que cualquier otra disciplina gerencial. Estos cambios se deben principalmente al enorme aumento en número y en variedad de los activos físicos (planta, equipamiento, edificaciones) que deben ser mantenidos en todo el mundo, diseños más complejos, nuevos métodos de mantenimiento, y una óptica cambiante en la organización del mantenimiento y sus responsabilidades.

El Mantenimiento también está respondiendo a expectativas cambiantes. Estas incluyen una creciente toma de conciencia para evaluar hasta qué punto las fallas en

los equipos afectan a la seguridad y al medio ambiente; conciencia de la relación entre el mantenimiento y la calidad del producto, y la presión de alcanzar una alta disponibilidad en la planta y mantener acotado el costo.

Estos cambios están llevando al límite las actitudes y habilidades en todas las ramas de la industria. El personal de Mantenimiento se ve obligado a adoptar maneras de pensar completamente nuevas, y actuar como ingenieros y como gerentes. Al mismo tiempo las limitaciones de los sistemas de mantenimiento se hacen cada vez más evidentes, sin importar cuánto se hayan computarizado. (Moubray, 2000)

2.2 Importancia del mantenimiento en contextos industriales

En entornos industriales, el mantenimiento cumple un rol estratégico fundamental, ya que permite asegurar la disponibilidad, confiabilidad y rendimiento continuo de los activos físicos involucrados en los procesos productivos. Su adecuada planificación e implementación afecta directamente al cumplimiento de los objetivos operacionales, financieros y de seguridad, siendo una función clave dentro de la gestión de activos.

La creciente complejidad de los sistemas industriales y el alto costo asociado a las fallas imprevistas han reforzado la necesidad de contar con programas de mantenimiento estructurados, orientados no solo a reparar, sino a prevenir y anticipar posibles fallas. La ejecución oportuna de actividades de mantenimiento permite minimizar pérdidas por detenciones no programadas, extender la vida útil de los equipos, reducir los riesgos de accidentes y asegurar el cumplimiento de estándares de calidad y medioambientales.

En este contexto, el mantenimiento ya no se concibe como una actividad reactiva, sino como una disciplina técnica con fuerte base analítica, que requiere conocimiento del comportamiento de fallas, gestión de riesgos y alineamiento con la estrategia operacional de la organización.

2.3 Evolución histórica del mantenimiento

El concepto de mantenimiento ha evolucionado significativamente a lo largo del tiempo, pasando de ser una actividad puramente correctiva y reactiva, a constituirse como una disciplina técnica y estratégica dentro de la gestión industrial. Esta evolución ha estado fuertemente influenciada por el desarrollo tecnológico, el aumento en la complejidad de los sistemas productivos, los costos asociados a fallas y la necesidad de maximizar la disponibilidad de los activos. A continuación, se describen las principales etapas y enfoques que han marcado la evolución del mantenimiento en la industria.

2.3.1 Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo es el tipo de mantenimiento más básico y uno de los primeros en implementarse históricamente en contextos industriales. Se define como la acción de restaurar un equipo o sistema a su estado de funcionamiento normal una vez que ha ocurrido una falla. En otras palabras, consiste en reparar o reemplazar componentes únicamente después de que se ha producido una pérdida de funcionalidad.

Este enfoque, también conocido como mantenimiento reactivo, se caracteriza por la ausencia de planificación previa. Su aplicación es inmediata y orientada a restablecer la operación tan pronto como sea posible. En equipos simples o no críticos, este tipo de mantenimiento puede ser económicamente aceptable, ya que evita costos asociados a inspecciones o reemplazos innecesarios. Sin embargo, en sistemas complejos o de alta disponibilidad, su uso exclusivo puede derivar en consecuencias operacionales graves, como paradas imprevistas, daños colaterales a otros componentes, incumplimiento de metas de producción, sobrecostos y riesgos para la seguridad.

El mantenimiento correctivo puede clasificarse en dos grandes categorías:

- **Correctivo no planificado:** ocurre cuando la falla se presenta de forma repentina y sin previsión. En estos casos, la reparación debe realizarse

de forma urgente, lo que puede implicar mayor presión operativa, uso de recursos no programados y tiempos prolongados de inactividad si no se dispone de repuestos o personal capacitado.

- **Correctivo planificado:** aunque la falla ya ha ocurrido o es inminente, se programa su atención para una ventana de tiempo disponible, como una detención programada. Este enfoque permite una intervención más eficiente, con menor impacto en la operación.

Si bien el mantenimiento correctivo tiende a asociarse con desventajas como la imprevisibilidad, los mayores riesgos de accidentes o la posibilidad de fallas en cascada, también posee ciertas ventajas cuando se utiliza de manera estratégica en activos con bajo impacto operacional, bajo costo de reemplazo o alta facilidad de reparación.

2.3.2 Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo es una estrategia que busca reducir la probabilidad de fallas mediante la intervención sistemática sobre los equipos, sin necesidad de esperar a que ocurra una falla. A diferencia del mantenimiento correctivo, su enfoque se basa en la planificación y ejecución de tareas programadas que tienen como objetivo conservar el funcionamiento óptimo del equipo durante el mayor tiempo posible.

Este tipo de mantenimiento considera intervalos definidos de tiempo, ciclos de operación o condiciones preestablecidas, bajo el supuesto de que los componentes poseen una vida útil limitada y que su desgaste puede anticiparse. Las tareas más comunes en un plan de mantenimiento preventivo incluyen inspecciones visuales, ajustes, lubricación, limpieza, calibraciones y reemplazo de piezas de forma periódica.

Una de las principales ventajas del mantenimiento preventivo es la posibilidad de evitar fallas imprevistas, lo que permite reducir las paradas no programadas y aumentar la disponibilidad del sistema. Además, facilita la programación de recursos, la optimización del uso de repuestos y la mejora de la seguridad en la operación. No

obstante, también presenta ciertas limitaciones, como el riesgo de realizar tareas innecesarias (sobre-mantenimiento), intervenir equipos que aún no muestran señales de deterioro o generar costos adicionales si no se basa en datos confiables de vida útil.

2.3.3 Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo surgió como una evolución del enfoque preventivo, incorporando el monitoreo de condición para anticipar fallas con mayor precisión. Su aparición estuvo ligada al avance de sensores, análisis de vibraciones y tecnologías de diagnóstico, pudiendo tener una toma de decisiones más eficiente basada en el estado real del equipo.

Representó un cambio importante en la forma de entender el mantenimiento, permitiendo reducir tareas innecesarias y mejorar el uso de recursos. El desarrollo de esta estrategia preparó el camino para enfoques aún más integrales, como el mantenimiento proactivo y centrado en confiabilidad.

Entre las técnicas más comunes utilizadas en mantenimiento predictivo se encuentran: análisis de vibraciones, termografía infrarroja, ultrasonido, análisis de aceites lubricantes, inspección por corrientes inducidas, entre otras. Estas técnicas pueden aplicarse de forma manual, periódica o incluso en línea, a través de sistemas de monitoreo continuo.

El mantenimiento predictivo permite una reducción significativa del costo total de mantenimiento cuando se implementa correctamente, ya que combina la eficiencia del monitoreo técnico con la planificación estratégica de intervenciones. Esta estrategia es especialmente valiosa en activos críticos donde la falla no presenta señales visibles y sus consecuencias son severas o costosas. (Wireman 2004)

2.3.4 Mantenimiento proactivo

El mantenimiento proactivo es una estrategia que busca eliminar las causas raíz que originan las fallas, en lugar de centrarse únicamente en tratar sus consecuencias.

Su enfoque se basa en el análisis técnico del deterioro, en el monitoreo de condiciones que lo provocan, y en la mejora continua de los procesos, prácticas de operación, diseño de equipos y condiciones de mantenimiento.

A diferencia del mantenimiento predictivo, que actúa sobre un síntoma observable, el mantenimiento proactivo interviene sobre el origen del problema, muchas veces antes de que los síntomas sean evidentes. Para ello, se apoya en herramientas como el análisis de causa raíz (RCA, por sus siglas en inglés), análisis de modos de falla (FMEA/AMFE), estudios de confiabilidad, análisis de lubricantes, gestión de contaminación, control de instalación y entrenamiento del personal técnico.

Las acciones típicas en un programa de mantenimiento proactivo pueden incluir la corrección de desalineaciones en acoplamientos, el rediseño de elementos propensos a fatiga, la mejora de la lubricación mediante filtrado y análisis de limpieza, la implementación de prácticas estandarizadas de montaje, y la modificación de condiciones operativas que aceleran el desgaste.

La mayor fortaleza del mantenimiento proactivo radica en su impacto sostenido en la confiabilidad de los equipos. A través de la eliminación sistemática de fuentes de degradación, se reduce la recurrencia de fallas, se prolonga la vida útil de los componentes y se estabiliza el desempeño operacional. Si bien su implementación requiere tiempo, compromiso organizacional y cultura técnica consolidada, sus beneficios se reflejan en menor variabilidad, mayor seguridad operativa y reducción del costo total de propiedad de los activos.

El control efectivo del deterioro y la eliminación de las causas fundamentales son condiciones necesarias para alcanzar un nivel elevado de confiabilidad operacional de forma sostenible (Nowlan y Heap 1978). En este sentido, el mantenimiento proactivo se presenta como una estrategia avanzada que complementa a las demás y refuerza el ciclo de mejora continua en la gestión de activos físicos.

2.3.5 Tabla comparativa de tipos de mantenimiento

Con el propósito de sintetizar las principales características de los enfoques de mantenimiento descritos, a continuación se presenta una tabla comparativa que permite visualizar sus diferencias en cuanto a definición, momento de intervención, fundamentos, ventajas, limitaciones y aplicabilidad. Esta comparación resulta útil para comprender el contexto en el que cada estrategia puede ser implementada de manera eficiente según la criticidad de los equipos y los objetivos operacionales de la organización.

Tabla 2.1: Tabla comparativa de tipos de mantenimiento.

Criterio	Correctivo	Preventivo	Predictivo	Proactivo
Definición	Interviene después de la falla	Intervenciones planificadas según tiempo o uso	Interviene cuando se detectan síntomas de falla	Elimina causas raíz del deterioro
Base de la acción	Evento inesperado	Tiempo de operación / frecuencia esperada	Variables de condición monitoreadas	Análisis técnico y eliminación de fuentes de falla
Ejemplos típicos	Reemplazo de motor quemado	Cambio de aceite cada 500 horas	Cambio de rodamiento al detectar vibración anómala	Corrección de desalineación en ejes
Ventajas	Bajo costo inicial, fácil de aplicar	Reduce paradas imprevistas, relativamente fácil de planificar	Optimiza recursos, evita mantenimientos innecesarios	Disminuye recurrencia de fallas, mejora la confiabilidad
Desventajas	Altos tiempos muertos, posible daño secundario	Puede generar sobre-mantenimiento	Requiere tecnología y análisis especializado	Exige cultura técnica, análisis profundo y tiempo de implementación

2.4 Clasificación de las estrategias de mantenimiento

Las estrategias de mantenimiento pueden clasificarse según su forma de aplicación, grado de planificación, tecnología asociada y enfoque preventivo o reactivo. Esta clasificación permite seleccionar la estrategia más adecuada para cada activo, considerando su criticidad, contexto operacional, historial de fallas y disponibilidad de

recursos. A continuación, se describen las principales categorías de mantenimiento utilizadas en la industria.

2.4.1 Mantenimiento correctivo no planificado

El mantenimiento correctivo no planificado corresponde a la forma más reactiva de gestión de fallas, ya que se ejecuta únicamente después de que se ha producido una interrupción en la operación del equipo. Este tipo de intervención no contempla ninguna planificación previa, ni respecto al momento de ocurrencia, ni en términos de recursos técnicos o repuestos requeridos. Esta ejecución por lo general está asociada a condiciones de emergencia y detención inesperada del proceso.

Este enfoque es generalmente utilizado en activos no críticos, de bajo costo o fácil reemplazo, donde los efectos de la falla no afectan significativamente la seguridad, la producción o el medioambiente. No obstante, cuando se aplica en equipos de alta criticidad, puede generar consecuencias severas como daños colaterales, tiempos prolongados de inactividad, sobre costos operacionales y riesgos para las personas o el entorno.

2.4.2 Mantenimiento correctivo planificado

El mantenimiento correctivo planificado consiste en la ejecución de una reparación posterior a la detección de una falla funcional o la evidencia de una degradación significativa, pero con anticipación suficiente como para planificar su intervención en una ventana operativa definida. A diferencia del mantenimiento correctivo no planificado, este tipo de mantenimiento considera una programación de recursos, repuestos y tiempo de ejecución, minimizando el impacto de la falla.

Se aplica cuando el equipo aún puede operar de forma temporal sin poner en riesgo la seguridad ni provocar un daño mayor. En estos casos, se evalúa la severidad de la falla y se define el momento más conveniente para su atención, usualmente dentro de una detención programada o una ventana de mantenimiento regular.

El mantenimiento correctivo planificado permite mantener cierta eficiencia en la gestión de recursos y reducir los costos asociados a detenciones imprevistas y evita la improvisación que caracteriza al mantenimiento reactivo de emergencia.

2.4.3 Mantenimiento preventivo sistemático

Esta estrategia se basa en la realización periódica de intervenciones sobre los equipos, independientemente de su condición operativa real. Estas tareas se programan en función del tiempo transcurrido, ciclos de operación, horas de uso o unidades producidas, bajo la premisa de que los componentes tienen una vida útil predecible y que su desgaste puede anticiparse con base en experiencia histórica o especificaciones del fabricante.

Las tareas típicas de este enfoque incluyen cambios de lubricante, inspecciones visuales, reemplazo de piezas consumibles, ajustes mecánicos, limpieza técnica y calibración de sensores, entre otras. Tiene como objetivo reducir la probabilidad de fallas funcionales y asegurar el cumplimiento de estándares de seguridad, calidad y continuidad operativa.

Sin embargo, este enfoque también presenta limitaciones. Al no considerar la condición real del componente, existe el riesgo de incurrir en sobre-mantenimiento, interviniendo equipos que aún se encuentran en buenas condiciones. Esto puede derivar en uso innecesario de repuestos, aumento del costo de mantenimiento y generación de fallas inducidas por intervención.

El mantenimiento preventivo sistemático es ampliamente utilizado en la industria minera, particularmente en activos de media a alta criticidad, como motores eléctricos, bombas y cintas transportadora, donde los riesgos de detención superan el costo de una intervención programada.

2.4.4 Monitoreo basado en condición (predictivo)

El monitoreo basado en condición, comúnmente denominado mantenimiento predictivo, es una estrategia de mantenimiento que permite determinar el momento óptimo para intervenir un equipo a partir del análisis de su comportamiento físico, químico o funcional. Tiene un enfoque que se centra en identificar signos tempranos de degradación antes de que ocurra una falla funcional, permitiendo ejecutar acciones de mantenimiento solo cuando existe evidencia objetiva de deterioro en los componentes o equipos.

Esta estrategia se sustenta en el uso de tecnologías de diagnóstico que permiten capturar variables clave de operación como vibraciones, temperatura, presión, caudal, corriente eléctrica, espesor de materiales, calidad del lubricante, entre otras. El análisis sistemático de estas señales permite detectar tendencias anormales o desviaciones respecto al funcionamiento esperado, que pueden indicar un modo de falla en desarrollo.

El principal beneficio del monitoreo basado en condición es su capacidad de optimizar la disponibilidad del equipo, reduciendo al mínimo las intervenciones innecesarias y extendiendo la vida útil de los componentes.

2.4.5 Eliminación de causa raíz

La eliminación de causas raíz, dentro del enfoque del mantenimiento proactivo, se basa en intervenir los factores que originan el deterioro del equipo antes de que estos se manifiesten como fallas funcionales. A diferencia del monitoreo predictivo, que actúa sobre síntomas observables de falla, este enfoque busca modificar las condiciones que provocan el desgaste, la fatiga, la contaminación o los errores operativos, de manera que el modo de falla no llegue a desarrollarse.

Este tipo de mantenimiento se apoya en el análisis sistemático del comportamiento de los equipos, utilizando principalmente el análisis de causa raíz (RCA), el análisis de modos de falla y efectos (AMFE).

A largo plazo, esto se traduce en menor carga de mantenimiento, aumento de la vida útil de los activos, menor riesgo de fallas catastróficas y una cultura de mejora continua en la organización.

3. CAPÍTULO III: MARCO CONCEPTUAL

3.1 RCM

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM, por sus siglas en inglés) es una metodología que tiene como objetivo optimizar las estrategias de mantenimiento, enfocándose en la confiabilidad operativa de los equipos y sistemas (Moubray, 2000). A través de un enfoque estructurado, el RCM busca identificar las funciones críticas de los equipos, los modos de falla asociados, y las tareas de mantenimiento más adecuadas para prevenir o mitigar dichos fallos. Esta metodología es útil para asegurar que los activos operen de manera continua y eficiente, minimizando fallas inesperadas que puedan interrumpir la operación.

El proceso del RCM se basa en responder siete preguntas fundamentales que guían y marcan el desarrollo de un plan de mantenimiento robusto:

- ¿Cuáles son las funciones y los estándares de rendimiento del equipo en su contexto operativo?
- ¿De qué maneras puede fallar el equipo al cumplir con sus funciones?
- ¿Qué causa cada uno de los modos de falla?
- ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
- ¿De qué manera impacta cada falla en la operación?
- ¿Qué tareas de mantenimiento pueden prevenir o detectar cada falla de manera oportuna?
- ¿Qué debe hacerse si no se puede encontrar una tarea proactiva adecuada?

Las cuatro primeras preguntas establecen los objetivos, definen el problema y toma la información básica, la quinta pregunta identifica las consecuencias de las fallas, y las preguntas seis y siete son la estrategia del mantenimiento. Responder estas siete preguntas no solo permite identificar los modos de falla más importantes para el sistema, sino también las acciones de mantenimiento más eficientes y rentables. Este análisis detallado ayuda a priorizar las intervenciones en función de la criticidad de los equipos, mejorando así la confiabilidad operativa y reduciendo el riesgo de fallos que podrían causar interrupciones significativas. En minería, donde los equipos trabajan en condiciones extremas y cualquier parada imprevista puede generar pérdidas considerables, la implementación de un enfoque basado en el RCM es clave para asegurar la continuidad de las operaciones.

Implementar este plan de mantenimiento centrado en confiabilidad da opción para asegurar una mayor disponibilidad en los activos de la planta de chancado junto con reducir tiempos de inactividad no programados y hacer más eficiente el uso de los recursos destinados al mantenimiento.

Al concentrarse en las fallas con mayor impacto en la seguridad y la eficiencia operativa, se promueve un entorno más seguro para los trabajadores como para los procesos productivos.

3.1.1 Contexto operacional

Es esencial previo a desarrollar planes de mantenimiento a equipos, identificar claramente en que contexto estos realizan su operación. Factores externos distintos que rodean equipos idénticos son capaces de repercutir de manera diferente en ambos, ya sea mermando la eficiencia de componentes en distintas escalas lo que conlleva fallas e intervenciones en distintos puntos de la vida útil de los activos. Por ende en función del contexto operacional es que los planes de mantenimiento son concebidos primeramente, un ejemplo claro podría ser el plan de mantenimiento de un compresor a 3500 metros sobre el nivel del mar y el del mismo compresor en el borde costero, o

una cinta transportadora en una zona costera expuesta a un ambiente húmedo y salino que la misma operando en una zona más seca y con baja humedad.

Se busca entonces identificar de forma clara factores y condiciones ambientales donde el activo opera, los regímenes de operación, disponibilidad de materias primas y energías involucradas en su operación junto con el desempeño de este y el impacto deseado en la producción y seguridad.

3.1.2 Funciones

La descripción de la función de un activo debe incluir un verbo, un objeto y un parámetro de funcionamiento deseado (Moubray, 2000), considerando siempre su contexto operacional. Todo activo físico posee múltiples funciones, cada una con parámetros de funcionamiento específicos que deben ser identificados.

Antes de determinar las acciones necesarias para garantizar que un activo continúe cumpliendo con los requerimientos de sus usuarios dentro de su contexto operacional, es fundamental establecer:

- Qué es lo que sus usuarios esperan que haga
- Que el activo sea capaz de realizar dicha función

Por ello, el primer paso en el proceso de RCM es definir claramente las funciones del activo en su contexto operacional, junto con sus parámetros de funcionamiento deseados. Junto con esto se describen funciones primarias y secundarias.

3.1.2.1 Funciones primarias

Es la principal razón por la que se adquiere el activo, es vital definir las de la manera más precisa posible junto con las expectativas de funcionamiento.

Por lo general las funciones primarias son fáciles de reconocer, el nombre de la mayoría de los activos físicos industriales se basa en su función primaria.

3.1.2.2 Funciones secundarias

Se espera que un activo cumpla una o más funciones además de la función primaria, estas funciones son llamadas funciones secundarias.

Estas funciones suelen ser menos obvias, sin embargo deben ser identificadas de forma precisa ya que en ocasiones necesitan igual o mayor mantenimiento que las primarias.

3.1.3 Fallas funcionales

Cuando el activo deja de realizar el trabajo con los parámetros y la forma en que el usuario desea que lo haga es cuando este entonces falla.

Debido a que cada activo puede realizar una o más funciones se puede ver expuesto a múltiples estados de falla diferentes, es por esto que es más eficiente definir una falla en términos de la pérdida de una de estas funciones específicas y no la falla del activo como un todo.

3.1.4 Modos de falla

Un modo de falla se define como cualquier evento que causa una falla funcional.

Es importante identificar y registrar la causa de cada falla de manera detallada para no tratar síntomas sino más bien las causas reales, es necesario entonces evitar registrar simplemente "Falla de X" (siendo X cualquier componente de un activo).

3.1.4.1 Categorías de modos de fallas

Los modos de falla se pueden dividir en tres categorías que se señalan a continuación:

- **Capacidad bajo el funcionamiento deseado:** Esta primera categoría señala los casos en los cuales en un primer momento el activo tiene la capacidad de funcionar por sobre el funcionamiento deseado, pero posteriormente decae cuando el activo entra en funcionamiento, situándose bajo el funcionamiento deseado. Entre las causas principales se encuentran: el deterioro, errores humanos, fallas en la lubricación, desarme, polvo o suciedad.
- **Capacidad sobre el funcionamiento deseado:** El funcionamiento deseado está dentro de la capacidad del activo sin embargo cuando se pone en funcionamiento se le demanda un funcionamiento el que está fuera de su capacidad, dando como resultado dos fallas en el activo: el funcionamiento deseado aumenta hasta que el activo no puede responder, o el esfuerzo acelera el deterioro del activo haciendo que deje de ser confiable y por ende útil.
- **Capacidad inicial insuficiente al funcionamiento deseado:** El funcionamiento deseado del activo esta fuera de rango de capacidad inicial desde el comienzo.

3.1.5 Efectos de falla

Un efecto de falla no es lo mismo que una consecuencia.

Un efecto de falla responde a la pregunta ¿Qué ocurre?, mientras que una consecuencia de falla responde a la pregunta ¿Qué importancia tiene?. (Moubray, 2000)

Los efectos de falla estarán ligados a los modos de falla, es necesario acá indicar también la importancia que tienen estos efectos para evaluar las consecuencias asociadas a ellos.

Para realizar correctamente esta evaluación de las consecuencias, se debe considerar los siguiente al momento de describir los efectos de falla:

- La evidencia que ha ocurrido una falla

- La manera en la que la falla supone una amenaza para la seguridad o el medio ambiente
- La manera en que afecta a la producción o a las operaciones
- Daños físicos que podría causar la falla
- Que se debe hacer para reparar la falla

3.1.5.1 Fuentes de modos y efectos de falla

Es clave en este punto del análisis consultar las siguientes fuentes acerca de los modos y efectos de falla:

- El fabricante o proveedor del equipo
- Otros usuarios de la misma maquinaria
- Personal de mantención
- Operadores del equipo
- Listas genéricas del modo de falla

3.1.6 Consecuencias de falla

La metodología señala cuatro categorías de consecuencias que traen consigo las fallas, las define de la siguiente manera y se nombran a continuación:

- **Consecuencias ambientales y para la seguridad:** Un modo de falla tiene consecuencias para la seguridad si causa una pérdida de función u otros daños que pudieran lesionar o matar a alguien, y consecuencias ambientales cuando la falla conduce a una infracción de cualquier normativa o reglamento ambiental conocido. (Moubray, 2000)
- **Consecuencias operacionales:** Una falla tiene consecuencias operacionales si tiene un efecto adverso directo sobre la capacidad operacional. Por ejemplo, afectando el volumen de producción total, la

calidad del producto o incrementando el costo operacional sumado al costo asociado a la reparación.

- **Consecuencias no operacionales:** Las consecuencias asociadas a estas fallas serán los costos asociados directamente a la reparación por lo que también serán económicas, esto porque no tienen efectos directos sobre la seguridad, medio ambiente o la capacidad operacional.
- **Consecuencias de fallas ocultas:** Este tipo de falla son especialmente críticas, aunque no tienen impacto directo, la severidad de esta va en que puede traer fallas múltiples y en ocasiones catastróficas lo que evidentemente es perjudicial en diversos aspectos.

3.1.6.1 Funciones ocultas y evidentes

Una función evidente es aquella cuya falla, tarde o temprano, será claramente perceptible para los operadores en condiciones normales de operación.

Sin embargo, algunas fallas pueden ocurrir sin ser detectadas de inmediato, a menos que desencadenen una falla adicional. En estos casos, se habla de una función oculta, cuya falla no será evidente para los operarios bajo condiciones normales si ocurre de manera aislada.

3.1.7 Tareas proactivas

Las tareas proactivas son actividades planificadas y sistemáticas destinadas a prevenir fallas, optimizar el rendimiento de los activos y garantizar su funcionamiento confiable. Estas tareas se enfocan en identificar y corregir condiciones que puedan generar averías, minimizando así el desgaste prematuro y el riesgo de fallas inesperadas.

Su implementación permite mejorar la disponibilidad de los equipos, reducir costos asociados a reparaciones correctivas y prolongar la vida útil de los activos. Engloban lo que comúnmente se denomina mantenimiento preventivo y predictivo,

aunque el RCM utiliza los términos de reacondicionamiento cíclico, sustitución cíclica, y mantenimiento a condición. (Moubray, 2000)

3.1.8 Fallos potenciales y curva P – F

Para mejor comprensión de cómo define las tareas proactivas el RCM es necesario introducir el concepto de la curva P-F.

La curva P-F es una herramienta que representa la evolución de una falla en un activo, desde su inicio hasta el punto en que afecta su funcionamiento. Esta curva describe dos momentos clave. El primero es el punto P, que marca el inicio de la falla potencial, es decir, el momento en que el problema comienza a desarrollarse pero aún no ha generado un impacto significativo en el rendimiento del equipo. En esta etapa, la falla puede detectarse mediante inspecciones, monitoreo de condición o análisis predictivos. El segundo es el punto F, que representa la falla funcional, cuando el activo pierde parcial o totalmente su capacidad operativa.

El intervalo de tiempo entre el punto P y el punto F se conoce como intervalo P-F y es el período disponible para detectar y corregir la falla antes de que cause un impacto grave.

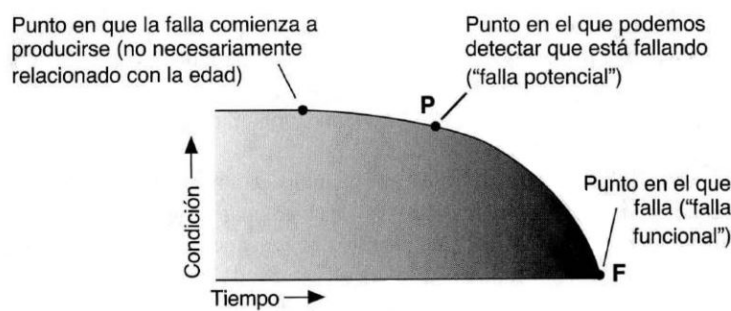


Figura 3.1: Curva P-F. (Moubray, 2000)

3.1.8.1 Intervalo P – F neto

El intervalo P-F neto es el tiempo real disponible para detectar y corregir una falla antes de que el activo pierda su funcionalidad, considerando la frecuencia de inspección o monitoreo. Aunque el intervalo P-F teórico representa el período total entre la detección de una falla potencial y su manifestación completa, el intervalo P-F neto se ve reducido por la periodicidad con la que se realizan las inspecciones o análisis.

Por ejemplo, si un activo tiene un intervalo P-F de 9 meses y se realizan inspecciones cada mes, la falla podría detectarse en el peor de los casos justo después de una inspección, lo que retrasaría su identificación hasta la siguiente revisión mensual. Esto significa que, en promedio, la falla se detectará aproximadamente un mes después de su aparición, reduciendo el intervalo P-F neto a 8 meses.

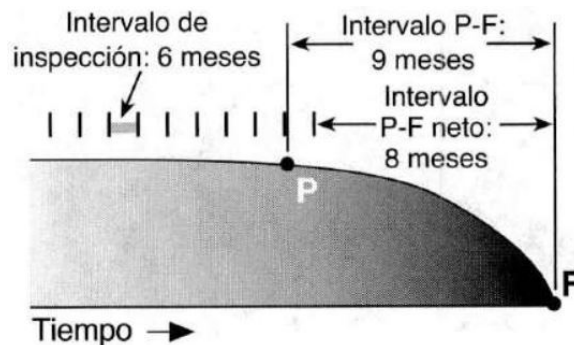


Figura 3.2: Intervalo P-F neto. (Moubray, 2000)

3.1.9 Tareas de reacondicionamiento cíclico

Una tarea de reacondicionamiento cíclico será una actividad programada que busca restaurar un activo o uno de sus componentes a una condición específica de funcionamiento antes de que ocurra una falla. Estas tareas se basan en la premisa de que ciertos modos de falla pueden prevenirse mediante la renovación periódica de los elementos sujetos a desgaste o degradación.

El reacondicionamiento puede implicar la restauración parcial o total de un componente, reemplazo de piezas críticas o ajustes que devuelvan al equipo a un estado óptimo de operación. La frecuencia de esta tarea se define en función de la confiabilidad del activo y el análisis de su desempeño, asegurando que se intervenga antes de que se manifieste una falla funcional.

3.1.10 Tareas de sustitución cíclica

Una tarea de sustitución cíclica es una actividad programada que consiste en reemplazar un componente o activo completo en intervalos regulares, antes de que falle. Esta estrategia se basa en la premisa de que ciertos elementos tienen una vida útil predecible y su sustitución periódica puede prevenir fallas funcionales.

La frecuencia de la sustitución se determina mediante el historial de fallas del componente, asegurando que el reemplazo ocurra antes de que la degradación afecte el rendimiento del equipo.

3.1.11 Tareas a condición

Las tareas a condición son actividades de inspección o monitoreo diseñadas para detectar el inicio de una falla antes de que afecte el funcionamiento del activo. Estas tareas permiten evaluar el estado real de un componente y determinar si es necesario intervenir antes de que ocurra una falla funcional.

El objetivo de este tipo de mantenimiento es maximizar la vida útil de los activos y minimizar intervenciones innecesarias, actuando solo cuando se detectan signos de deterioro. Se utilizan técnicas como análisis de vibraciones, monitoreo de temperatura, ultrasonido o inspecciones visuales.

3.1.12 Tareas “a falta de”

Las acciones “a falta de” son aquellas medidas correctivas que se implementan cuando no es posible prevenir una falla mediante tareas proactivas, ya sea por razones técnicas o económicas. Estas acciones se aplican una vez que la falla ha ocurrido y pueden incluir reparaciones, reemplazos o ajustes para restaurar la funcionalidad del activo.

Este enfoque se utiliza en casos donde las fallas no pueden predecirse con precisión o cuando su impacto es aceptable dentro del contexto operacional.

El RCM reconoce tres categorías de acciones “a falta de”, que se aplican cuando no es posible prevenir una falla mediante tareas proactivas. Estas son:

1. **Búsqueda de falla:** Consiste en inspeccionar periódicamente los activos para detectar fallas ocultas antes de que generen consecuencias graves. Se aplica cuando una falla no es evidente para los operadores en condiciones normales de operación y puede pasar desapercibida hasta que desencadene un problema mayor.
2. **Rediseño:** Implica modificar el equipo o el sistema cuando ninguna estrategia de mantenimiento es efectiva o económicamente viable para prevenir una falla inaceptable. Puede incluir cambios en los materiales, mejoras en la tecnología o la reconfiguración del diseño para aumentar la confiabilidad.
3. **Ningún mantenimiento programado:** Se aplica cuando no hay una acción viable para prevenir o mitigar la falla y su ocurrencia se considera aceptable dentro del contexto operacional. Se usa en casos donde las consecuencias de la falla son mínimas o cuando cualquier intervención sería más costosa que la propia falla.

3.1.13 Hoja de información

Posterior a la identificación de cada sistema que compone un activo es necesario realizar un análisis de los componentes de estos sistemas definidos, es en la hoja de información donde se documenta y realiza el análisis AMFE que demanda la metodología RCM. En esta hoja es donde se responden las primeras cuatro preguntas del proceso:

- ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
- ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?
- ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
- ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?

La hoja de información viene compuesta por cuatro principales columnas donde se describe la función, falla funcional, modo de falla y efectos de la falla, además de un encabezado donde se señala el nombre del componente, a que sistema pertenece y el nombre del activo. A continuación, se muestra el formato empleado para el trabajo.

HOJA DE INFORMACIÓN RCM	SISTEMA/ACTIVO	SISTEMA N°	FACILITADOR	HOJA 1
	SUB-SISTEMA/COMPONENTE	SUB-SISTEMA N°	FECHA	DE 1
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA	

Figura 3.3: Hoja de información RCM.

3.1.14 Árbol de decisiones

El árbol de decisiones permite establecer, de manera lógica y sistemática, cuál es la acción de mantenimiento más adecuada para cada modo de falla funcional identificado previamente en la hoja de información. Su aplicación considera factores como la detectabilidad del fallo, las consecuencias para la seguridad, el medioambiente,

la operación, el costo y la posibilidad técnica de ejecutar una tarea preventiva o de mitigación.

El árbol de decisiones está compuesto por una serie de preguntas secuenciales, que guían al grupo RCM a través de un camino lógico, con el objetivo de responder:

1. ¿La falla tiene consecuencias evidentes para la seguridad, el medioambiente o la operación?
2. ¿Puede ser prevenida o detectada antes de que ocurra?
3. ¿Existe una tarea preventiva viable técnica y económicamente?
4. Si no es viable, ¿es aceptable permitir que la falla ocurra y aplicar una corrección planificada?

En base a estas preguntas, el árbol clasifica la estrategia de mantenimiento recomendada en una de las siguientes categorías:

- Tarea basada en condición
- Tarea sistemática (por tiempo o uso)
- Tarea de búsqueda de fallas latentes (para protecciones ocultas)
- Reacondicionamiento o sustitución cíclica
- No realizar tarea (tolerar la falla con corrección planificada)
- Rediseño del sistema o componente

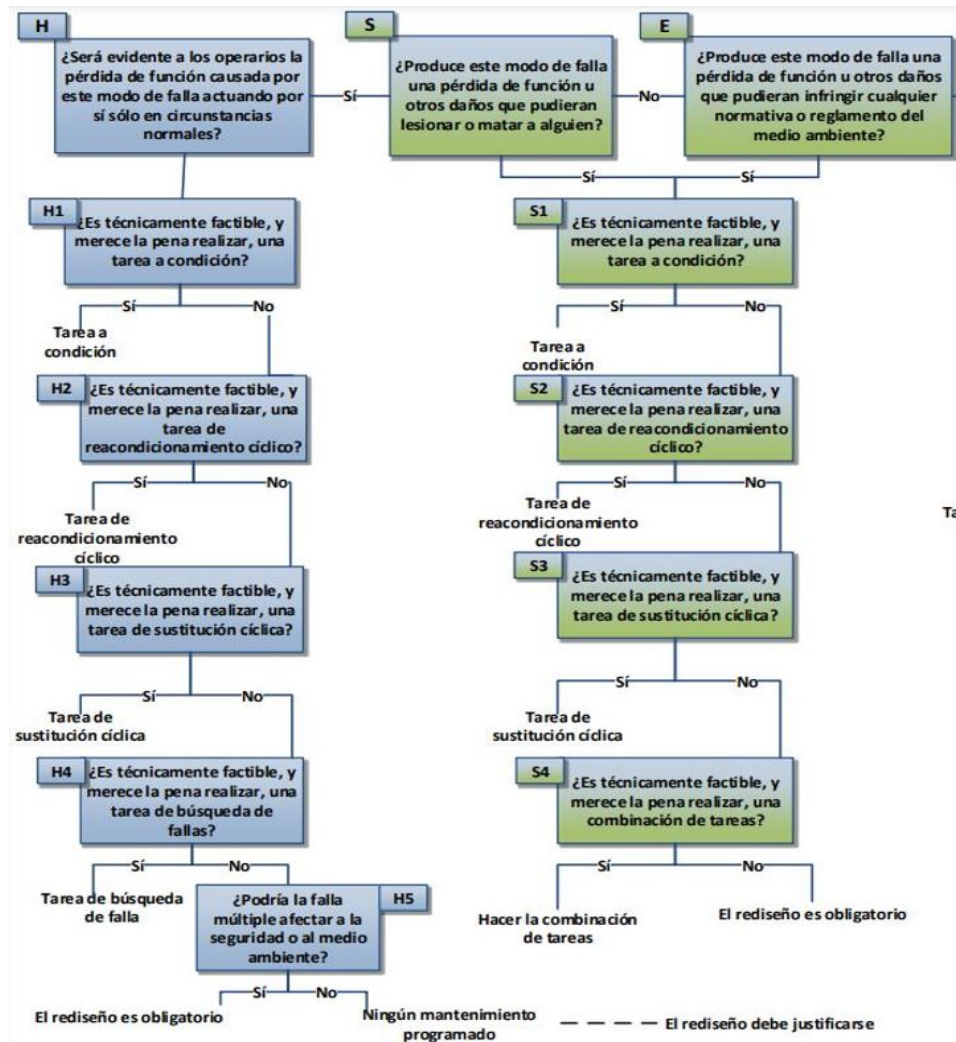


Figura 3.4: Árbol de decisiones primera parte.

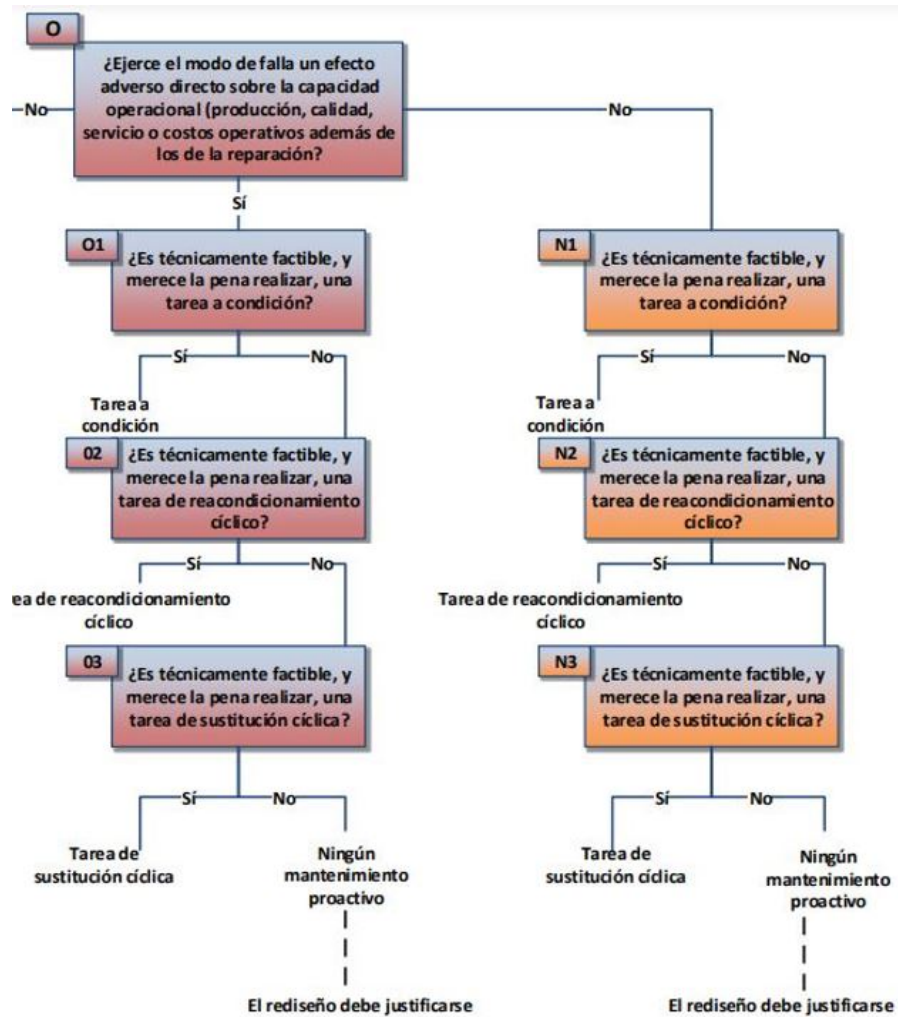


Figura 3.5: Árbol de decisiones segunda parte.

Esta lógica permite vincular el análisis técnico con una toma de decisiones operativa y económicamente justificable, fortaleciendo la gestión del mantenimiento y alineándola con los objetivos de seguridad, confiabilidad y eficiencia de la organización.

A continuación, se presenta el formato utilizado para la hoja de decisiones RCM:

HOJA DE DECISIÓN RCM	SISTEMA/ACTIVO	SISTEMA N°	FACILITADOR	HOJA 1
	COMPONENTE	SUB-SISTEMA N°	FECHA	DE

															1	
Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"	Tareas Propuestas			Frecuencia Inicial		A realizar por
							S1	S2	S3							
							O1	O2	O3							
							N1	N2	N3							
F	FF	MF	H	S	E	O				H4	H5	S4				

Figura 3.6: Hoja de decisiones RCM

3.1.15 Aplicación del árbol de decisiones RCM para llenado de hoja de decisiones

La hoja de decisiones RCM es una herramienta clave dentro del proceso de análisis, permite seleccionar la estrategia de mantenimiento más adecuada para cada modo de falla identificado y registrado previamente en la hoja de información. La construcción se basa directamente en la utilización del árbol de decisiones, una secuencia lógica de preguntas que guía al grupo RCM hacia la elección de la tarea más efectiva, considerando el contexto operacional, la criticidad del equipo y la consecuencia de la falla.

El llenado de la hoja de decisiones comienza una vez que se han identificado las funciones, fallas funcionales, modos de falla y sus efectos asociados a un sistema o componente. Luego, para cada modo de falla, se recorre el árbol de decisiones siguiendo la lógica estructurada que este plantea.

El árbol suele estar compuesto por las siguientes preguntas clave:

1. ¿La falla tiene consecuencias evidentes?

Si afecta la seguridad, el medioambiente o el cumplimiento de la función principal sin posibilidad de ser detectada antes, se considera una falla con consecuencias evidentes.

Si no es evidente y depende de una función oculta (por ejemplo, un sistema de protección), se trata de una falla oculta.

2. ¿Se puede detectar o prevenir la falla antes de que ocurra?

Se evalúa si existen técnicas de monitoreo, inspección o señales previas que permitan anticipar la ocurrencia del modo de falla

3. ¿Existe una tarea de mantenimiento efectiva técnica y económicamente?

Si la tarea preventiva o basada en condición no es viable, se considera si se puede aceptar la ocurrencia de la falla bajo un esquema de corrección planificada o si es necesario rediseñar el sistema.

Según las respuestas a estas preguntas, se selecciona una de las siguientes decisiones:

- Tarea a condición: si se puede monitorear el modo de falla.
- Tarea sistemática (tiempo o uso): si existe una periodicidad adecuada conocida.
- Tarea de búsqueda de fallas: para funciones ocultas o protecciones latentes.
- Reacondicionamiento o sustitución cíclica: si el componente se degrada progresivamente.
- No se realiza tarea: cuando no hay tareas viables y el riesgo es aceptable.
- Rediseño: si ninguna tarea es viable y el riesgo no es aceptable.

Cada decisión tomada se registra en la hoja de decisiones, junto con su justificación técnica, frecuencia recomendada, tipo de tarea y observaciones adicionales.

3.2 Herramientas y metodologías integradas en RCM

Para una correcta elaboración de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad es necesario hacer uso de diversas herramientas que serán clave para la identificar la criticidad de activos y posteriormente la jerarquización de los mismos, también indicadores claves que son necesarios para tener conocimiento del desempeño

de estos. Junto con esto se hace uso de metodologías que permitirán dar con el modo de fallas de los componentes de los subsistemas de los equipos, uno de los ejes principales de este tipo de mantenimiento.

3.2.1 Análisis de criticidad

El análisis de criticidad de activos es una metodología utilizada para priorizar los activos según su impacto en la operación, la seguridad y los costos en caso de falla. Tiene como objetivo optimizar la asignación de recursos y definir estrategias de mantenimiento adecuadas para cada equipo, asegurando la continuidad operativa y minimizando riesgos.

Este análisis permite clasificar los activos en diferentes niveles de criticidad, generalmente categorizados como alta, media o baja, en función de criterios como la probabilidad de falla y sus consecuencias. Con esta información, se pueden establecer estrategias de mantenimiento más eficientes, asignando mayores recursos a los activos más críticos y optimizando la gestión de mantenimiento en toda la organización.

3.2.2 Metodología del análisis de criticidad

El proceso de análisis de criticidad se desarrolla en varias etapas:

1. **Identificación de activos:** Se elabora un inventario de los equipos y sistemas que forman parte del proceso productivo o del servicio.
2. **Definición de criterios de criticidad:** Se establecen los factores a considerar en el análisis, tales como impacto en la producción, seguridad, costos de reparación y cumplimiento normativo.
3. **Evaluación de criticidad:** Se asignan valores a cada activo en función de los criterios definidos. Esto puede hacerse mediante matrices de criticidad, que ponderan la probabilidad de falla y sus consecuencias.

4. **Clasificación de activos:** Los activos se agrupan en diferentes niveles de criticidad (alta, media, baja) según los puntajes obtenidos en la evaluación.

Este enfoque permite tomar decisiones basadas en datos, mejorando la eficiencia del mantenimiento y reduciendo costos asociados a fallas inesperadas.

3.2.3 FMEA

El Análisis Modal de Fallos y Efectos o FMEA, por sus siglas en inglés “Failure Mode and Effects Analysis” es una herramienta que permite evaluar, de manera sistemática, los posibles modos de falla de un sistema, proceso o componente, con el objetivo de identificar sus causas, consecuencias y proponer medidas preventivas o correctivas antes de que dichas fallas se manifiesten en la operación.

El FMEA puede definirse como “un método formal para examinar un sistema por funciones y modos de falla, con el propósito de identificar las causas y los efectos de cada modo” (Stamatis, 2003). Esta metodología es ampliamente utilizada en industrias como la automotriz, aeroespacial, manufacturera y minera, debido a su capacidad para anticipar fallas potenciales y reducir el riesgo operativo de los activos productivos.

El enfoque del FMEA se basa en un análisis funcional, en el cual se determinan las funciones esperadas de cada componente o subsistema. A partir de ello, se identifican los posibles modos de falla (maneras en que un elemento puede fallar), se estudian sus causas probables y se evalúan los efectos que tendría esa falla en el sistema. Cada modo de falla se califica en términos de tres criterios: severidad (impacto del efecto), ocurrencia (frecuencia estimada de la causa) y detectabilidad (probabilidad de que la falla sea detectada antes de que afecte al sistema), calculando con ello un índice de criticidad conocido como número de prioridad de riesgo (RPN).

La estructura del FMEA permite priorizar acciones en función del RPN, orientando esfuerzos hacia los riesgos más significativos. Las acciones resultantes

pueden incluir rediseño, ajustes en los planes de mantenimiento, implementación de tareas de monitoreo o establecimiento de controles de calidad.

3.2.4 Análisis funcional

El análisis funcional en el mantenimiento centrado en confiabilidad es el proceso en el cual se identifican los subsistemas y componentes de un activo, junto con las funciones específicas que cada uno debe cumplir dentro de su contexto operacional. Este análisis permite descomponer un equipo en sus partes fundamentales para comprender su interrelación y asegurar que cada elemento contribuya al desempeño global del sistema.

La importancia del análisis funcional en el RCM radica en que proporciona una base estructurada para la identificación de posibles modos de falla. Al detallar los subsistemas y componentes, se puede determinar con precisión qué función desempeña cada uno y bajo qué parámetros debe operar. Esto facilita la detección de fallas potenciales, la evaluación de sus consecuencias y la selección de estrategias de mantenimiento adecuadas para cada nivel del sistema.

Por ejemplo, en un sistema de bombeo, el análisis funcional identificaría sus subsistemas principales, como el motor, la bomba, el sistema de sellado y el sistema de control. Luego, se definirían las funciones específicas de cada componente, como el suministro de potencia en el motor o el control del caudal en la bomba. De esta manera, cualquier desviación en su desempeño puede analizarse de manera estructurada para aplicar acciones de mantenimiento preventivo o correctivo de manera eficiente.

3.2.5 Diagrama funcional de bloques

Esta herramienta es una representación gráfica que muestra la estructura y funcionalidad de un sistema, descomponiéndolo en sus subsistemas, componentes y las interacciones entre ellos. Proporcionar una visión clara del flujo de operación, identificando cómo cada elemento contribuye al funcionamiento general del sistema.

En RCM, el diagrama funcional de bloques es una herramienta clave para el análisis funcional, ya que permite visualizar cómo se interconectan los diferentes componentes y qué funciones cumplen dentro del sistema.

El diagrama utiliza bloques para representar los distintos subsistemas y componentes, conectados por líneas o flechas que indican el flujo de energía, información o material dentro del sistema.

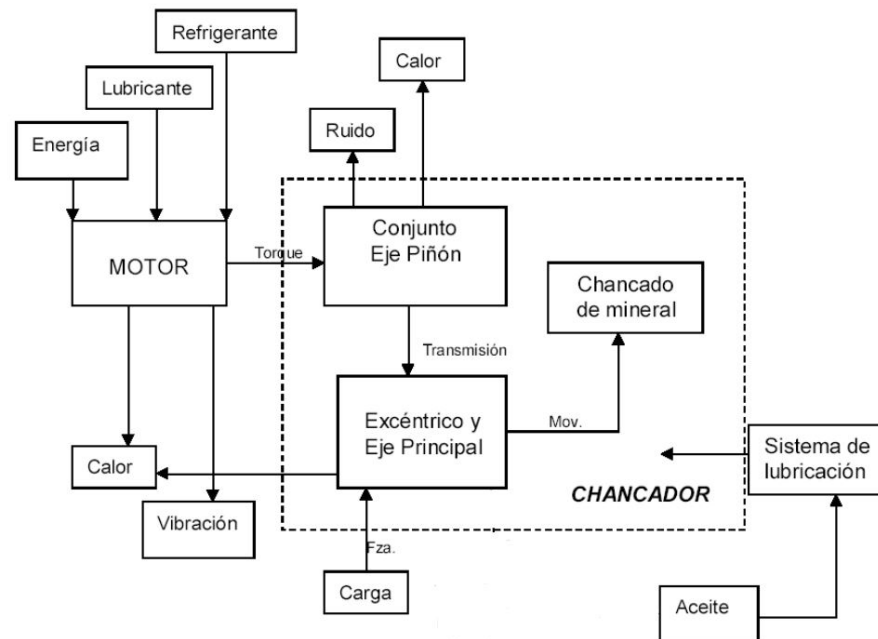


Figura 3.7: Diagrama funcional adaptado de Botto et al. (Figura 3, pág. 11)

3.2.5.1 Diagrama entrada proceso salida

El diagrama Entrada-Proceso-Salida (EPS) es una representación gráfica que describe el flujo de información, materiales o energía a través de un sistema, dividiéndolo en tres elementos fundamentales:

- **Entrada:** Representa los datos, materiales o recursos que ingresan al sistema para ser procesados.

- **Proceso:** Es la transformación o acción que se realiza sobre la entrada para obtener un resultado deseado.
- **Salida:** Es el producto final, resultado o efecto generado después del procesamiento de la entrada.

Al desglosar un equipo en entradas, procesos y salidas, es posible comprender mejor su comportamiento y definir estrategias de mantenimiento adecuadas.

Diagrama EPS - Chancador Sanland 900'x1200'			
Entrada	Proceso		Salida
	Reducción del tamaño del mineral desde tamaños de alimentación gruesos hasta aproximadamente 3 a 4 pulgadas		
	Subprocesos	Componentes	
Mineral grueso	Recepción y trituración primaria	Mandíbulas, cámara de trituración	Mineral con granulometría 3' - 4'
Grasa	Movimiento alternado	Pitman, eje excéntrico, volante	Calor por fricción
Energía eléctrica	Transmisión de potencia	Motor eléctrico, correas, poleas	Polvo
Agua (supresión de polvo)	Ajuste abertura o setting	Lainas, block, puente fusible, muelas	Ruido
Elementos no procesables	Lubricación de partes móviles	Bomba, líneas	Vibraciones
	Control de polvo	Supresores	Grasa con temperatura

Figura 3.8: Diagrama EPS - Chancador Sanland 900'x1200'.

Diagrama EPS - Chancador Sanland SH220			
Entrada	Proceso		Salida
	Trituración intermedia del mineral hasta una granulometría de 28 - 35 mm, para alimentación terciaria.		
	Subprocesos	Componentes	
Mineral reducido (3' - 4')	Recepción y alimentación	Cámara de trituración, cóncavo	Mineral con granulometría de 28 - 35 mm

Lubricante (aceite)	Movimiento de trituración giratorio	Manto, eje principal, excéntrica	Aceite caliente
Energía eléctrica	Setting de descarga	Motor hidráulico, anillo de ajuste	Calor
Aceite hidráulico	Traba y fijación de tazón	Cilindros hidráulicos de fijación y traba	Ruido
Elementos no procesables	Transmisión de potencia	Motor, poleas, contra eje, piñón-corona	Polvo
	Lubricación del sistema	Bomba de aceite, filtros, válvulas	Vibraciones
	Control de sobrecarga	Sistema hidráulico de alivio	

Figura 3.9: Diagrama EPS - Chancador Sanland SH220.

Diagrama EPS - Chancador TRIO TC - 66			
Entrada	Proceso		Salida
	Reducción final del mineral hasta una granulometría de 12 - 13 mm, para deposito en stock pile y posterior alimentación de molienda		
	Subprocesos	Componentes	
Mineral reducido 28 - 35 mm	Alimentación fina	Cámara de trituración, cóncavo	Mineral con granulometría de 12 - 13 mm
Aceite lubricante	Movimiento de conminución	Manto, eje principal, excéntrica	Aceite caliente
Energía eléctrica	Ajuste de setting	Motor hidráulico, anillo de ajuste	Polvo
Aceite hidráulico	Traba y liberación de tazón	Cilindros hidráulicos, acumuladores	Vibraciones
Elementos no procesables	Lubricación	Bomba, filtros, enfriador	Calor residual
	Protección ante sobrecargas	Unidad hidráulica con válvulas de alivio	Elementos finos no procesables
	Control de presión y temperatura	Sensores, presostatos	

Figura 3.10: Diagrama EPS - Chancador TRIO - 66.

3.2.6 Confiabilidad operacional

La confiabilidad es un aspecto fundamental en la gestión de activos físicos, ya que se relaciona directamente con la capacidad de los sistemas y equipos para cumplir sus funciones de manera continua y segura a lo largo del tiempo. Se apoya en una serie

de conceptos que permiten evaluar, cuantificar y mejorar el desempeño operativo de los activos.

Estos conceptos forman la base para tomar decisiones informadas sobre estrategias de mantenimiento, optimización de recursos y reducción de riesgos operacionales, siendo esenciales para asegurar la disponibilidad, seguridad y eficiencia de los sistemas productivos.

La confiabilidad operacional está integrada por cuatro pilares: confiabilidad humana, confiabilidad de equipos, confiabilidad de procesos y mantenimiento de equipos.

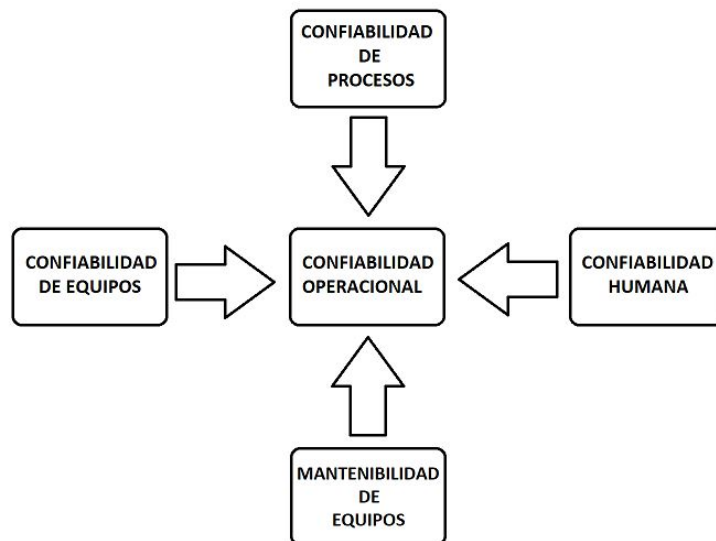


Figura 3.11: Diagrama confiabilidad operacional (Elaboración propia)

3.2.6.1 Tiempo medio entre fallas

El MTBF es un indicador de confiabilidad que representa el tiempo promedio que un equipo opera correctamente entre fallas consecutivas. Es aplicable a sistemas reparables y permite estimar la frecuencia de fallas, siendo útil para planificar el mantenimiento y mejorar la disponibilidad operativa.

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total de operación}}{\text{Número de fallas}} \quad (1)$$

3.2.6.2 Tiempo medio de reparación

El Tiempo Medio de Reparación (MTTR) es un indicador que representa el tiempo promedio que se requiere para reparar un equipo después de una falla. Incluye el tiempo de detección, diagnóstico, reparación y puesta en marcha, siendo clave para evaluar la mantenibilidad de los sistemas y minimizar tiempos de inactividad.

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de reparación}}{\text{Número de reparaciones}} \quad (2)$$

3.2.6.3 Disponibilidad

La Disponibilidad es una medida que indica la proporción del tiempo en que un equipo o sistema está operativo y disponible para cumplir su función, en relación con el tiempo total considerado. Refleja tanto la confiabilidad como la mantenibilidad del activo, y es fundamental para asegurar la continuidad operativa de los procesos.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (3)$$

3.2.6.4 Intervalo de búsqueda de falla

El Intervalo de Búsqueda de Falla es el tiempo establecido entre cada revisión o inspección que se realiza con el objetivo de detectar si una falla ha ocurrido en un activo cuya falla no es evidente en condiciones normales de operación. Este intervalo busca minimizar el riesgo de que una falla oculta permanezca sin ser detectada por un periodo prolongado.

4. CAPÍTULO IV: APLICACIÓN RCM

4.1 Análisis de criticidad MCR

El método MCR (Matriz de Criticidad por Riesgo) es una herramienta semicuantitativa diseñada para evaluar la criticidad de activos productivos mediante el análisis sistemático del riesgo asociado a cada equipo. Este método fue desarrollado específicamente para activos de producción Off-Shore del área de Magallanes, elaborado por ENAP Sipetrol según el informe técnico ENAP SIPETROL (2008). (Parra, Carlos 2015)

La criticidad de un activo se define como la medida del impacto que genera la falla o indisponibilidad de dicho activo sobre el sistema productivo, considerando aspectos de seguridad, medio ambiente, calidad, producción y costos. La criticidad permite establecer prioridades de mantenimiento y asignación de recursos de manera objetiva y fundamentada.

El método MCR se basa en la estimación del factor de riesgo a través de la siguiente expresión fundamental:

$$\text{Riesgo} = \text{Frecuencia de fallos} \times \text{Consecuencia} \quad (4)$$

El método considera la variable consecuencia de manera multifactorial, la que se compone por los siguientes criterios:

- SHA: Impacto en seguridad y medio ambiente
- IC: Impacto en calidad
- IP: Impacto en producción
- BM: Impacto por baja mantenibilidad
- CM: Costos de mantenimiento

Cada uno de estos factores ponderados darán como resultado un valor a la variable consecuencia (C). La expresión final sería:

$$C = (SHA \times 0,2) + (IC \times 0,2) + (IP \times 0,2) + (BM \times 0,2) + (CM \times 0,2) \quad (5)$$

4.1.1 Tablas de valores

A continuación, se presentan las tablas con los valores, asignados a cada criterio.

4.1.1.1 Tabla factor de frecuencia de fallas (FF)

Tabla 4.1: Factor de frecuencias de fallas.

Valor	Descripción
1	Sumamente improbable, un evento en cinco años
2	Improbable, un evento en dos años
3	Posible, 4 eventos en dos años
4	Probable, entre 4 o 6 eventos al año
5	Frecuente, más de 10 eventos al año

4.1.1.2 Tabla factor de impacto seguridad y medio ambiente

Tabla 4.2: Factor impacto seguridad y medio ambiente.

Valor	Descripción
1	No existe ningún riesgo de salud ni de daños ambientales

3	Riesgo de vida del personal o daños menores a la salud del personal y/o incidente ambiental menor, derrames fáciles de contener y fugas repetitivas
5	Alto riesgo de vida del personal, daños graves a la salud del personal y/o incidente ambiental mayor (catastrófico), derrames y fugas que exceden los limite permitidos

4.1.1.3 Tabla factor impacto en calidad

Tabla 4.3: Factor impacto en calidad.

Valor	Descripción
1	No hay afectación en la calidad del producto
2	Afectación hasta un 24% de calidad de entrega del producto
3	Afectación entre un 25% y un 49% de la calidad de entrega del producto
4	Afectación entre un 50% y un 74% de calidad de entrega del producto
5	Afectación a más del 75% de la calidad de entrega del producto

4.1.1.4 Tabla factor impacto en producción

Tabla 4.4: Factor impacto en producción.

Valor	Descripción
1	Perdidas de producción menor al 10%
2	Perdidas de producción entre el 10% y el 24%
3	Perdidas de producción entre el 25% y el 49%
4	Perdidas de producción entre el 50% y el 74%

5	Perdidas de producción superiores al 75%
---	--

4.1.1.5 Tabla factor impacto por baja mantenibilidad

Tabla 4.5: Factor impacto por baja mantenibilidad.

Valor	Descripción
1	Se cuenta con unidades de reserva en línea, tiempos de reparación y logística pequeños
3	Se cuenta con unidades de reserva que logran cubrir de forma parcial el impacto en producción, tiempos de reparación y logística intermedios
5	No se cuenta con unidades de reserva para cubrir la producción, tiempos de reparación y logísticas muy grandes

4.1.1.6 Tabla factor impacto en costos de mantenimiento

Tabla 4.6: Factor impacto en costos de mantenimiento

Valor	Descripción
1	Costos de reparación incluyendo materiales y HH, se ubican por debajo del 10% del valor del equipo
2	Costos de reparación incluyendo materiales y HH, se ubican entre un 10% y el 24% del valor del equipo
3	Costos de reparación incluyendo materiales y HH, se ubican entre un 25% y el 49% del valor del equipo
4	Costos de reposición incluyendo materiales y HH, se ubican entre un 50% y el 74% del valor del equipo
5	Daños irreversibles al sistema, costos de reparación incluyendo materiales y HH supera en un 75% el valor del equipo

4.1.2 Matriz de criticidad

Los resultados obtenidos de la evaluación se presentan en una matriz de criticidad de 5x5 donde:

- Eje vertical: Representa los 5 niveles de frecuencia de falla (FF).
- Eje horizontal: Representa los 5 niveles de consecuencias de falla obtenidos de la ecuación 4.

4.1.2.1 Zonas de criticidad

La matriz está dividida en cuatro zonas que representan los diferentes niveles de criticidad:

- **Zona B (Baja criticidad):** Equipos con bajo riesgo que requieren mantenimiento básico.
- **Zona M (Media criticidad):** Equipos que requieren atención moderada y seguimiento regular.
- **Zona A (Alta criticidad):** Equipos que requieren programas de mantenimiento específicos y monitoreo constante.
- **Zona MA (Muy alta criticidad):** Equipos críticos que requieren estrategias de mantenimiento proactivo y recursos prioritarios.

Frecuencia	5	A	MA	MA	MA	MA
	4	A	A	A	A	MA
	3	M	M	M	A	MA
	2	B	B	B	M	M
	1	B	B	B	M	M
		1	2	3	4	5
Consecuencia						

Figura 4.1: Matriz de criticidad MCR.

4.1.3 Evaluación de factores por equipo

4.1.3.1 Chancador de mandíbula Sanland 900'x1200'

Factor de frecuencia de falla (FF): 4 - Probable

Factores de consecuencia:

- SHA: 3 - Bajo riesgo de vida del personal o daños menores a la salud
- IC: 5 - Afectación en más del 75% de la calidad de entrega del producto
- IP: 5 - Pérdidas de producción superiores al 75%
- BM: 4 - Se cuenta con unidades de reserva para cubrir parcialmente el impacto
- CM: 4 - Costos de reparación incluyendo materiales y HH se ubican entre 50% y 74% del valor

Consecuencia Total (C): 5

Riesgo = $4 \times 5 = 20$ → Criticidad: MUY ALTA

4.1.3.2 Chancador secundario Sanland SH220

Factor de frecuencia de falla (FF): Escala 4 - Probable

Factores de consecuencia:

- SHA: 3 - Bajo riesgo de vida del personal o daños menores
- IC: 5 - Afectación severa en la calidad del producto final
- IP: 5 - Pérdidas de producción superiores al 75%
- BM: 4 - Disponibilidad parcial de unidades de respaldo
- CM: 5 - Costos de reparación superiores al 75% del valor del equipo

Consecuencia Total (C): 5

Riesgo = $4 \times 5 = 20$ → Criticidad: MUY ALTA

4.1.3.3 Chancador terciario Trio TC - 66

Factor frecuencia de falla (FF): Escala 5 - Frecuente

Factores de consecuencia:

- SHA: 3 - Riesgo moderado por ubicación en área de proceso final
- IC: 5 - Impacto directo en la granulometría y especificaciones finales
- IP: 5 - Paralización completa de la línea de producción
- BM: 5 - No se cuenta con unidades de reserva disponibles
- CM: 5 - Costos elevados de reparación y mantenimiento especializado

Consecuencia Total (C): 5

$\text{Riesgo} = 5 \times 5 = 25 \rightarrow \text{Criticidad: MUY ALTA}$

4.1.3.4 Harnero secundario YAg140

Factor frecuencia de falla (FF): Escala 3 - Posible

Factores de consecuencia:

- SHA: 2 - Riesgo mínimo para el personal.
- IC: 3 - Afectación entre 25% y 49% de la calidad
- IP: 4 - Pérdidas de producción entre 50% y 74%
- BM: 3 - Impacto moderado en reparación y logística
- CM: 3 - Costos de reparación entre 25% y 49% del valor

Consecuencia Total (C): 4

$\text{Riesgo} = 3 \times 4 = 12 \rightarrow \text{Criticidad: ALTA}$

4.1.3.5 Harnero terciario TRIO 8202

Factor de frecuencia de falla (FF): Escala 3 - Posible

Factores de consecuencia:

- SHA: 2 - Bajo riesgo operacional
- IC: 4 - Afectación entre 50% y 74% de la calidad final
- IP: 4 - Impacto significativo en producción
- BM: 3 - Mantenibilidad moderada
- CM: 3 - Costos moderados de mantenimiento

Consecuencia Total (C): 4

$\text{Riesgo} = 3 \times 4 = 12 \rightarrow \text{Criticidad: ALTA}$

4.1.3.6 Grizzly alimentador

Factor de frecuencia de falla (FF): Escala 3 - Posible

Factor de consecuencia:

- SHA: 2 - Riesgo mínimo
- IC: 2 - Afectación menor en calidad (10 – 24%)
- IP: 3 - Pérdidas moderadas de producción (25 – 49%)
- BM: 2 - Fácil mantenibilidad
- CM: 2 - Costos bajos de mantenimiento

Consecuencia Total (C): 3

$\text{Riesgo} = 3 \times 3 = 9 \rightarrow \text{Criticidad: MEDIA}$

4.1.3.7 Matriz de criticidad resultante

La evaluación de factores por equipos realizada por los jefes de área de operaciones, mantenimiento, planificación, operadores y jefe de planta se resume en la tabla a continuación:

Tabla 4.7: Matriz de criticidad resultante.

Equipo	Frecuencia (FF)	Consecuencia (C)	Riesgo	Nivel de criticidad
Chancador TRIO TC - 66	5	5	25	Muy alta
Chancador Sanland 900'x1200'	4	5	20	Muy alta
Chancador Sanland SH220	4	5	20	Muy alta
Harnero YAg140	3	4	12	Alta
Harnero TRIO 8202	3	4	12	Alta
Grizzly alimentador	3	3	9	Media

El resultado del análisis indica los tres chancadores de la línea de chancado como los equipos con el nivel de criticidad más alta, es por esto que la aplicación de la metodología se verá centrada en estos activos.

4.2 Contexto operacional

La línea de chancado pertenece a una planta concentradora de cobre que opera bajo un proceso continuo, cuya disponibilidad es crítica para el cumplimiento de las metas de producción mensual y anual. La sección está compuesta por tres etapas de conminución: chancado primario, chancado secundario y chancado terciario, las cuales están dispuestas en serie sin redundancia funcional. Por lo tanto, la detención de cualquiera de los equipos implica la interrupción total del proceso de chancado.

El chancador primario opera con un ajuste de descarga entre 3 y 4 pulgadas, entregando mineral hacia el chancador secundario, que reduce la granulometría a un rango entre 28 y 35 milímetros. Finalmente, el chancador terciario entrega un producto con un P80 en el orden de 12 a 13 milímetros, que se considera apto para alimentación

al proceso de molienda. Estos límites de tamaño son requerimientos operacionales estrictos que deben mantenerse para asegurar el desempeño metalúrgico posterior.

El sistema trabaja con acumulación de mineral tanto antes del chancador primario como después del chancador terciario, lo cual permite amortiguar parcialmente las interrupciones del flujo. Aun así, el diseño del proceso no contempla redundancia de equipos ni líneas paralelas. Las detenciones se programan semanalmente los días martes por un período de 12 horas, destinado a mantenimiento preventivo y correctivo, aunque también se producen paradas no programadas por fallas inesperadas.

El trabajo se realiza en dos turnos de 12 horas, cubriendo la operación las 24 horas del día. En cuanto a condiciones de seguridad, la planta contempla medidas de resguardo estándar: barreras físicas, enclavamientos mecánicos y protocolos de bloqueo y etiquetado. Los riesgos habituales de la operación incluyen exposición a polvo, caída de rocas, atrapamientos por partes móviles y ruido industrial, especialmente en los chancadores primario y secundario.

Desde el punto de vista ambiental, la planta cuenta con sistemas de supresión de polvo en tolvas y correas transportadoras, así como medidas de mitigación acústica en las primeras etapas del proceso de chancado.

En cuanto a la gestión del mantenimiento, la planta dispone de stock de repuestos críticos en bodega, lo que permite reducir los tiempos de respuesta ante fallas. Sin embargo, no se cuenta con datos consolidados de tiempos medios de reparación (MTTR), lo que limita la capacidad de análisis cuantitativo en algunas áreas. La criticidad del proceso obliga a mantener un enfoque estructurado en la gestión de fallas y la confiabilidad de los activos.

4.3 Situación actual del mantenimiento en planta de chancado

Actualmente, el mantenimiento de los tres chancadores de la planta se basa principalmente en acciones reactivas o correctivas, las cuales se ejecutan en función de

condiciones observadas durante inspecciones rutinarias o informadas por los operadores durante la operación. No existe un plan estructurado de mantenimiento preventivo sistemático, y las intervenciones se planifican semanalmente según la disponibilidad de recursos y la urgencia de las condiciones detectadas.

El único componente que cuenta con un seguimiento formal son los revestimientos, cuyo desgaste se controla periódicamente, realizándose los reemplazos correspondientes cuando se alcanza el límite establecido por los criterios técnicos. Sin embargo, fuera de esta práctica, no se lleva un registro detallado ni sistematizado del estado general de los chancadores ni se aplican metodologías predictivas o basadas en análisis de criticidad para anticipar fallas de ningún componente. Esta situación genera un alto grado de incertidumbre operativa y aumenta la exposición a detenciones no programadas, afectando la continuidad y eficiencia del proceso de chancado.

4.4 Disponibilidad área de chancado

La planta lleva un registro de disponibilidad del área de chancado en su totalidad y no realizan el cálculo de este indicador por equipo de la línea (harneros, chancador primario, secundario, etc.). Es calculado de la siguiente manera:

$$Disponibilidad = \frac{Horas\ totales\ del\ mes - horas\ de\ mantenimiento}{Horas\ totales\ del\ mes} \quad (6)$$

A continuación se presentan los valores de disponibilidad y utilización de la planta de chancado durante de los últimos 12 meses.

Tabla 4.8: Disponibilidad y utilización de planta de chancado.

Mes	Horas de mantenimiento	Disponibilidad	Utilización
-----	------------------------	----------------	-------------

may-24	151	79,7%	91,1%
jun-24	87	87,9%	90,7%
jul-24	108	85,5%	93,0%
ago-24	98	86,8%	91,5%
sept-24	116	83,9%	91,6%
oct-24	124	83,4%	93,8%
nov-24	110	84,8%	95,5%
dic-24	133	82,1%	93,8%
ene-25	110	85,2%	95,7%
feb-25	107	84,1%	91,9%
mar-25	108	85,5%	93,0%
abr-25	116	83,9%	91,6%

El promedio de disponibilidad en los últimos 12 meses de la planta de chancado es de 84,4% y de 92,8% en la utilización. Por medio de la identificación de modos de fallas potenciales en los equipos críticos del área de chancado se busca mejorar la disponibilidad de cada equipo, y en su conjunto, una mejora en la disponibilidad global de la línea de chancado.

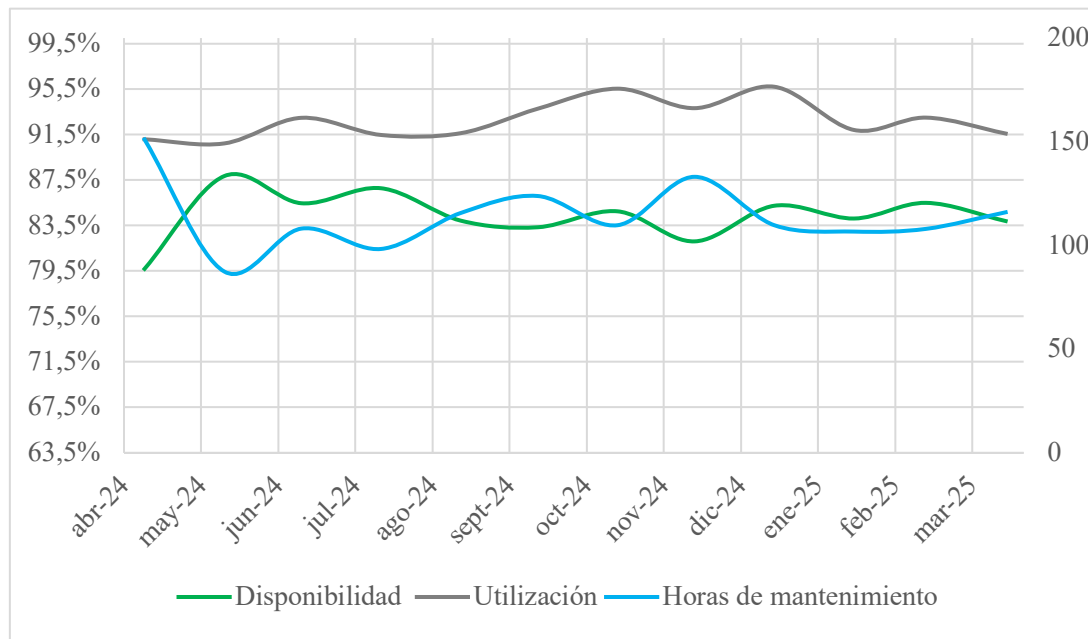


Figura 4.2: Curvas de disponibilidad, utilización y horas de mantenimiento de planta de chancado.

4.4 Producción planta de chancado

Con el objetivo de caracterizar el comportamiento operativo de la planta de chancado, a continuación se presenta un resumen de las toneladas de mineral procesadas mes a mes durante el periodo analizado.

Tabla 4.9: Toneladas procesadas y disponibilidad de planta de chancado.

Periodo	Toneladas procesadas	Disponibilidad
jun-24	60680	79,7%
jul-24	66331	87,9%
ago-24	63717	85,5%
sept-24	70772	86,8%
oct-24	64356	83,9%
nov-24	66774	83,4%
dic-24	59466	84,8%
ene-25	44031	82,1%
feb-25	58803	85,2%
mar-25	50183	84,1%
abr-25	64842	83,9%

4.6 Costos actuales de mantenimiento en planta de chancado

Actualmente la administración de la planta maneja los costos asociados a la línea de chancado como un solo elemento, y no individualiza los costos de mantenimiento demandados por cada equipo. Lo mismo ocurre con los repuestos consumidos desde bodega, existe un único costo mensual para toda la línea.

La planta cuenta con mecánicos y también con el apoyo constante de una empresa contratista de mantenciones para labores diarias y especialmente para la detención semanal programada de la línea de chancado. Los costos asociados al apoyo de mantenciones por parte de esta empresa contratista tampoco se logran cargar de manera individual por cada equipo de la planta, si no que se asigna a la línea de

chancado en su totalidad. Esto imposibilita manejar un valor asociado al mantenimiento de cada equipo y al consumo en repuestos que podría tener.

A continuación se presentan los costos redondeados asociados a mantenimientos y repuestos de la planta de chancado los últimos 12 meses:

Tabla 4.10: Costos de mantenimientos y repuestos de planta de chancado.

Periodo	Costos repuestos	Costos contratistas	Total
jun-24	\$19.000.000	\$7.500.000	\$26.500.000
jul-24	\$67.700.000	\$6.500.000	\$74.200.000
ago-24	\$33.500.000	\$20.600.000	\$54.100.000
sept-24	\$28.000.000	\$8.100.000	\$36.100.000
oct-24	\$17.200.000	\$16.600.000	\$33.800.000
nov-24	\$35.500.000	\$21.100.000	\$56.600.000
dic-24	\$21.500.000	\$14.300.000	\$35.800.000
ene-25	\$25.500.000	\$12.900.000	\$38.400.000
feb-25	\$11.300.000	\$15.400.000	\$26.700.000
mar-25	\$27.800.000	\$14.000.000	\$41.800.000
abr-25	\$38.500.000	\$10.400.000	\$48.900.000
may-25	\$37.700.000	\$14.200.000	\$51.900.000

4.7 Análisis horas de mantenimiento línea de chancado

La planta maneja un registro histórico de las horas de mantenimiento ocupadas sobre la línea de chancado, es importante analizar este parámetro y como se distribuye en el tiempo con objetivo de fijar la situación actual de la gestión del mantenimiento.

Se revisarán las horas de mantenimiento de los últimos 40 meses, para situarlas dentro de intervalos definidos y ver su distribución estadística en la tabla a continuación.

Tabla 4.11: Distribución estadística de horas de mantenimiento mensuales en planta de chancado.

Intervalo	Li	Ls	Frecuencia	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta relativa
-----------	----	----	------------	---------------------	---------------------	------------------------------

1	63	103	3	3	8%	8%
2	103	143	15	18	38%	46%
3	143	184	14	32	36%	82%
4	184	224	4	36	10%	92%
5	224	264	2	38	5%	97%
6	264	304	1	39	3%	100%

Donde:

Li = Límite inferior de intervalo

Ls = Límite superior de intervalo

Desde la Tabla 4.11 se desprende el siguiente análisis representado por la gráfica de a continuación:

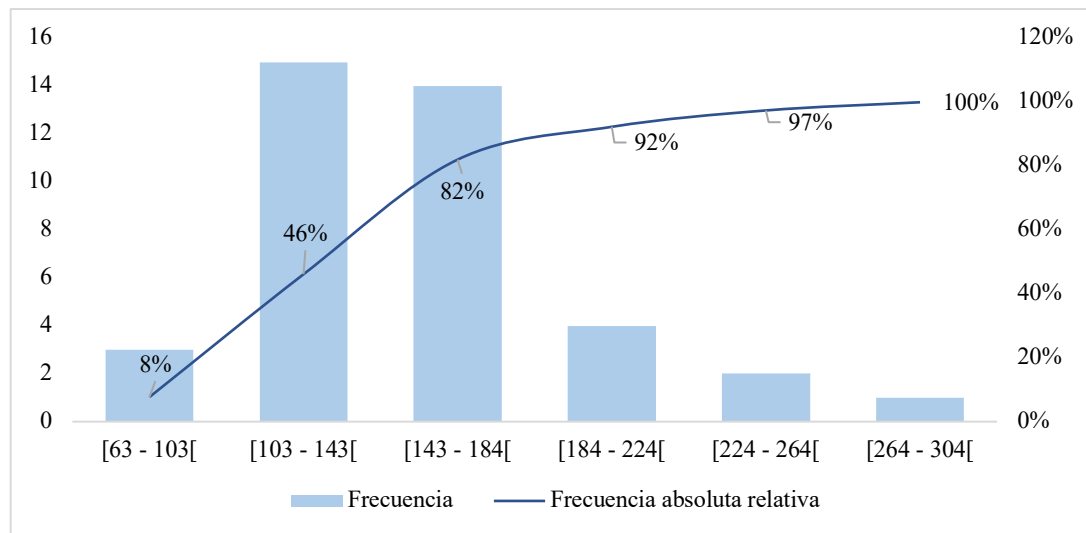


Figura 4.3: Gráfica de barras de horas de mantenimiento por mes y frecuencia absoluta relativa de la distribución.

El 82% de los datos se acumulan en los 3 primeros intervalos y el 74% solo en el segundo y tercer intervalo los que contemplan desde 103 a 184 horas de mantenimiento realizadas sobre la línea de chancado en su totalidad.

El contexto actual del mantenimiento en la planta, fija detenciones de 12 horas semanales (48 mensuales), un día a la semana, solo para la planta de chancado. También se consideran aparte 72 horas mensuales extras como tiempo disponible para llevar a cabo mantenimientos en la línea de chancado. Se puede fijar entonces una ventana mensual de 120 horas para planificar mantenimientos a realizar sobre la línea de chancado, mas no sobre cada equipo en particular debido al actual control realizado en la planta.

También es importante hacer el análisis de tiempo de mantenimiento empleado versus disponibilidad por medio de las siguientes graficas:

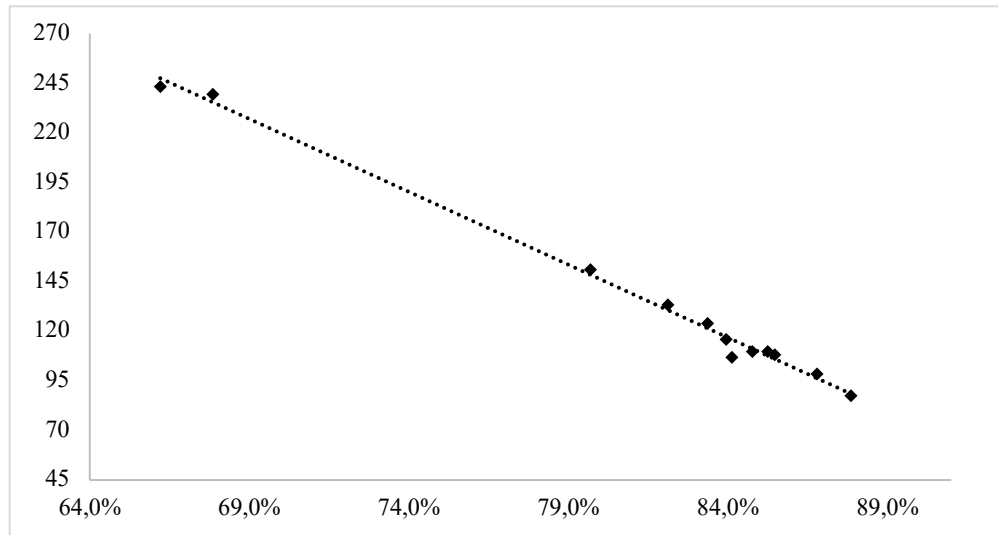


Figura 4.4: Grafica de horas de mantenimiento v/s disponibilidad.

Debido a la ecuación 6 es que el comportamiento de las horas que se emplean para llevar a cabo mantenimientos versus la disponibilidad, será lineal decreciente como la dispersión lo muestra y confirma, por esto es que a menor horas de mantenimiento mayor será la disponibilidad de la línea de chancado. También posee valor analizar el mantenimiento y la utilización del área por medio de la gráfica que se presenta a continuación:

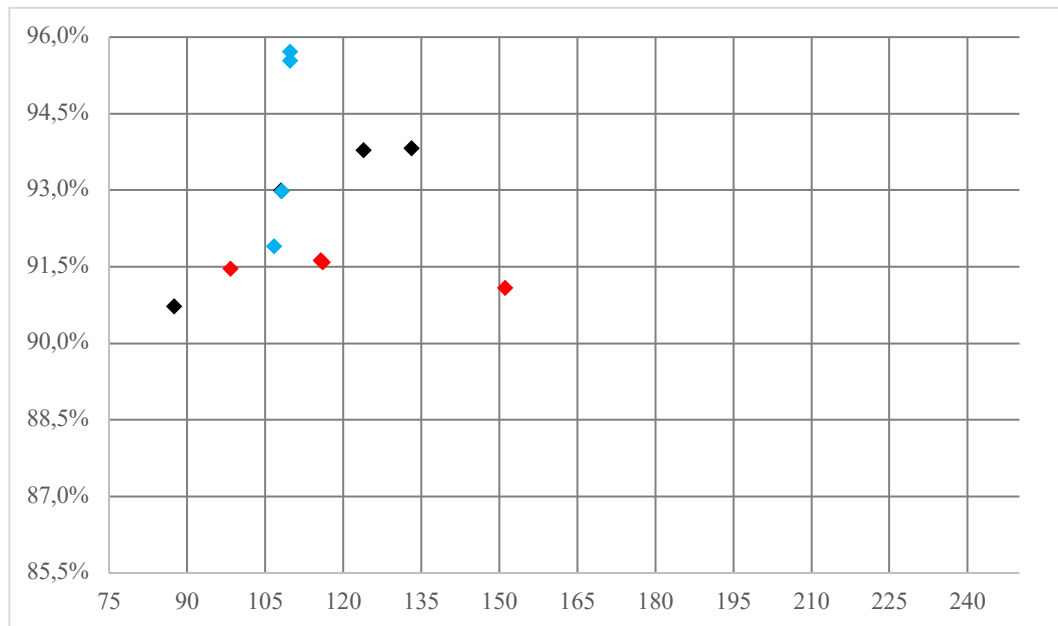


Figura 4.5: Grafica de dispersión utilización v/s horas de mantenimiento.

No existe una relación directa entre la utilización y las horas de mantenimiento, esto se refleja en la Figura 4.5 donde existen valores de utilización considerablemente similares asociados a bajas y altas horas de mantenimiento, como los registros en rojo, por ejemplo de la en ambos meses se alcanzó una utilización muy cercana al 91,5% pero con 98 y 151 horas de mantenimiento.

El otro caso que expone la dispersión es la existencia de meses en los que a valores similares de horas de mantenimiento realizadas se obtuvieron porcentajes de utilización con una variación considerable señalados con los meses en azul, donde meses muy cercanos a las 110 horas de mantenimiento se pudo obtener valores de utilización desde 91% a cerca del 96%, es concluyente entonces que la utilización de línea de chancado no es una función que depende de las horas de mantenimiento.

4.7.1 Horas de mantenimiento correctivo en línea de chancado

Como se detalló anteriormente las áreas de mantenimiento y planificación de la planta no lleva un registro de la disponibilidad de los equipos de la línea de chancado por separado, por ende tampoco el tiempo en mantenimientos no programados que se emplea en los equipos ni indicadores claves como el “MTTR” y “MTBF”. Sin embargo si se lleva registro en los informes que realiza el jefe de turno de las detenciones de la planta de chancado, su duración y la razón de la detención.

Mediante el análisis en detalle de estos informes mensuales se logró en primer lugar filtrar y diferenciar las detenciones programadas y las no programadas además de las detenciones en donde se obtuvo como equipo responsable exclusivamente a uno de los chancadores estudiados en este trabajo. De esta manera se pudo establecer las horas mensuales ocupadas en mantenimientos no programados a los chancadores y la duración promedio de cada una de estas intervenciones. Esta información será clave al momento de cuantificar las mejoras que traen consigo la implementación del plan RCM, ya que sobre estos registros es proyectaran las mejoras en disminución de horas de mantenimiento y aumento de disponibilidad.

Tabla 4.12: Horas de mantenimiento correctivo por mes.

Periodo	Horas de mantenimiento correctivo	Promedio de duración de mantenimiento correctivo en horas
jun-24	52,7	1,55
jul-24	36,6	1,86
ago-24	38,3	3,48
sept-24	32,6	2,3
oct-24	35,7	2
nov-24	27,5	1,2
dic-24	10,2	1,29
ene-25	14,5	2,42
feb-25	76,3	1,4
mar-25	53,8	1,1

abr-25	31,9	2,7
may-25	29,6	1,1
Promedio	36,6	1,87

4.8 Identificación de sistemas y componentes principales de equipos críticos

Una vez determinado que los tres chancadores de la planta concentradora corresponden a equipos críticos dentro del proceso, se procede a identificar los sistemas que componen los chancadores y los principales componentes de cada uno. Esta descomposición funcional tiene como objetivo establecer la base técnica para la elaboración de los análisis AMFE y el posterior desarrollo del árbol de decisiones de RCM, permitiendo definir las tareas de mantenimiento más adecuadas en función de cada modo de falla.

4.8.1 Sistemas y componentes de chancador primario de mandíbulas

El chancador primario de mandíbula está constituido por una serie de sistemas interdependientes que permiten su funcionamiento continuo bajo condiciones de alta exigencia operativa. Cada sistema cumple un conjunto específico de funciones, y se compone de elementos mecánicos, eléctricos e hidráulicos.

En la tabla a continuación se presenta la clasificación funcional del equipo:

Tabla 4.13: Subsistemas y componentes de chancador Sanland 900'x1200'.

DESCOMPOSICIÓN FUNCIONAL DE EQUIPOS			
Activo/Sistema		Chancador Sanland 900'x1200'	
Código de activo		CH-1	
Ubicación en planta		Área de trituración primaria	
Número de sistema		1	
Nº	Subsistema	Nº	Componentes

1.1	Trituración	1.1.1	Placas de mandíbula
		1.1.2	Volante de inercia
		1.1.3	Pitman
		1.1.4	Placas laterales
		1.1.5	Sist. De ajuste
1.2	Transmisión de potencia	1.2.1	Motor eléctrico
		1.2.2	Eje excéntrico
		1.2.3	Correas
		1.2.4	Poleas
1.3	Lubricación	1.3.1	Bomba de lubricación
		1.3.2	Líneas de lubricación
		1.3.3	Rodamientos
1.4	Seguridad	1.4.1	Placa de seguridad
		1.4.2	Sist. Detención de emergencia

4.8.2 Sistemas y componentes de chancador secundario y terciario de cono

Tras el análisis de criticidad realizado, se identificó que tanto el chancador secundario como el chancador terciario (ambos del tipo cono) son equipos críticos dentro de la línea de chancado, debido a su influencia directa en la continuidad operacional del proceso y en la calidad del producto que alimenta la etapa de molienda. Dado que ambos equipos comparten el mismo principio de funcionamiento, arquitectura general y sistemas de operación, se considera pertinente presentar de forma conjunta la identificación de sus sistemas funcionales y componentes principales. A continuación, se detallan los sistemas que componen a los chancadores de cono secundarios y terciarios, junto con sus elementos más representativos.

Tabla 4.14: Subsistemas y componentes de chancador Sanland SH220.

DESCOMPOSICIÓN FUNCIONAL DE EQUIPOS			
Activo/Sistema		Chancador Sanland SH220	
Código de activo		CH-2	
Ubicación en planta		Área de trituración secundaria	
Número de sistema		2	
Nº	Subsistema	Nº	Componentes
2.1	Trituración	2.1.1	Manto
		2.1.2	Cóncavo

		2.1.3	Cabezal de trituración
2.2	Transmisión de potencia	2.2.1	Motor eléctrico
		2.2.2	Eje principal
		2.2.3	Excéntrica
		2.2.4	Engranaje piñón-corona
2.3	Abertura y retención	2.3.1	Motor hidráulico de ajuste
		2.3.2	Cilindros de traba
		2.3.3	Cilindros de fijación
		2.3.4	Acumuladores
		2.3.5	Anillo de ajuste
		2.3.6	Engranaje de ajuste
2.4	Lubricación	2.4.1	Bomba de aceite
		2.4.2	Filtros de lubricación
		2.4.3	Enfriador
		2.4.4	Líneas
		2.4.5	Válvulas
		2.4.6	Sensores de presión
2.5	Hidráulico	2.5.1	Válvulas direccionales
		2.5.2	Válvulas de alivio
		2.5.3	Acumuladores
		2.5.4	Manómetro
		2.5.5	Filtros de aceite

Tabla 4.15: Subsistemas y componentes de chancador TRIO TC-66.

DESCOMPOSICIÓN FUNCIONAL DE EQUIPOS			
Activo/Sistema		Chancador TRIO TC-66	
Código de activo		CH-3	
Ubicación en planta		Área de trituración secundaria	
Número de sistema		3	
Nº	Subsistema	Nº	Componentes
3.1	Trituración	3.1.1	Manto
		3.1.2	Cóncavo
		3.1.3	Cabezal de trituración
3.2	Transmisión de potencia	3.2.1	Motor eléctrico
		3.2.2	Eje principal
		3.2.3	Excéntrica
		3.2.4	Engranaje piñón-corona
3.3	Abertura y retención	3.3.1	Motor hidráulico de ajuste
		3.3.2	Cilindros de traba
		3.3.3	Cilindros de fijación
		3.3.4	Acumuladores

		3.3.5	Anillo de ajuste
		3.3.6	Engranaje de ajuste
3.4	Lubricación	3.4.1	Bomba de aceite
		3.4.2	Filtros de lubricación
		3.4.3	Enfriador
		3.4.4	Líneas
		3.4.5	Válvulas
		3.4.6	Estanque
3.5	Hidráulico	3.5.1	Válvulas direccionales
		3.5.2	Válvulas de alivio
		3.5.3	Acumuladores
		3.5.4	Manómetro
		3.5.5	Filtros de aceite

5. CAPÍTULO V: PLANES DE MANTENIMIENTO RCM

En este capítulo se presentan únicamente algunos de los planes de mantenimiento desarrollados en el marco del trabajo, seleccionados con el propósito de ilustrar la aplicación de la metodología y los resultados obtenidos. La inclusión de la totalidad de los planes elaborados haría que el apartado adquiriera un carácter excesivamente extenso y predominantemente tabular, lo cual restaría claridad al análisis y dificultaría la exposición de los aspectos más relevantes. Por esta razón, se ha optado por mostrar ejemplos representativos, mientras que el conjunto completo de planes de mantenimiento correspondientes a cada componente de los chancadores se encuentra disponible en los anexos de este informe.

5.1 Placas de mandíbula

Tabla 5.1: Hoja de información de placas de mandíbula de chancador Sanland 900'x1200'.

HOJA DE INFORMACIÓN RCM	ACTIVO	SISTEMA N°	FACILITADOR	HOJA
	COMPONENTE	SUB-SISTEMA N°	FECHA	DE
	Chancador Sanland 900'x1200'	1	Claudio Basáez	1
	Placas de mandíbula (fija y móvil)	1.1	08-07-2025	1

FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFFECTO DE LA FALLA
1	Aplicar fuerza de compresión al mineral para reducir su tamaño de entre 4 y 3 pulgadas, procesando 2500 toneladas diarias.	A	Reducción en la eficiencia de trituración.	1	Desgaste excesivo de las superficies de las placas debido a la abrasión constante.	Aumento del tamaño del producto final, disminución de la capacidad de procesamiento y mayor consumo energético.
				2	Desgaste irregular por material de alimentación no uniforme o incorrecta instalación.	Vibraciones anómalas, incremento del desgaste en componentes adyacentes y reducción de la vida útil del equipo
		B	Interrupción inesperada del proceso de trituración.	1	Fracturas en las placas por fatiga del material o impactos de materiales no triturables.	Paro no programado del equipo, necesidad de reparaciones mayores y potencial daño a otros componentes.
				2	Falla de cuñas inferiores.	Movimiento o desprendimiento de placas, detención del equipo no programada.
				3	Falla de cuñas superiores y centrales.	Desprendimiento de placas pudiendo afectar con gravedad otros componentes.
		C	Movimiento irregular o nulo de mandíbula móvil.	1	Aflojamiento y/o desgaste las cuñas superiores y centrales.	Movimiento o desprendimiento de las placas, riesgo para la seguridad operativa y daños adicionales al equipo.
		D	Producción inferior a 2500 toneladas diarias.	1	Deformación de las placas debido a esfuerzos mecánicos excesivos.	Producción de material fuera de especificación, afectando procesos posteriores y calidad del producto final.
				2	Acumulación de material entre las placas, causando obstrucciones.	Reducción en la eficiencia operativa, posibles atascos y necesidad de paradas para limpieza y mantenimiento.

Tabla 5.2: Hoja de decisión de placas de mandíbula de chancador Sanland 900'x1200'.

HOJA DE DECISIÓN RCM	ACTIVO	SISTEMA N°				FACILITADOR		HOJA
	COMPONENTE	SUB-SISTEMA N°				FECHA		DE
	Chancador Sanland 900'x1200'	1				Claudio Basáez		1
	Placas de mandíbula	1.1				03-07-2025		1
Referencia de Información	Evaluación de las consecuencias	H1 S1	H2 S2	H3 S3	Tareas "a falta de"	Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por

							O1 N1	O2 N2	O3 N3						
F	FF	MF	H	S	E	O				H4	H5	S4			
1	A	1	N				S						Mediante inspección evaluar inversión o cambio de placa.	Semanal	Mantenimiento
1	A	2	N				S						Mediante inspección evaluar si el equipo alimentador lo está haciendo de manera correcta y si la granulometría es la adecuada.	Diaria	Operaciones
1	B	1	S	S			N	N	S				Reemplazo de placa.	Según tonelaje procesado	Planificación
1	B	2	S	S			N	N	S				Sustitución de cuña.	1 año	Mantenimiento
1	B	3	S	S			N	N	S				Sustitución de cuña.	6 meses	Mantenimiento
1	C	1	N				S						Inspeccionar pernos de sujeción de cuñas.	Diaria	Mantenimiento
1	D	1	N				S						Inspección y metrología a componente.	14 días	Mantenimiento
1	D	2	S	S			S						Monitoreo de operación.	A todo momento	Operador

5.2 Eje excéntrico

Tabla 5.3: Hoja de información de eje excéntrico de chancador Sanland 900'x1200'.

HOJA DE INFORMACIÓN RCM		ACTIVO		SISTEMA N°		FACILITADOR		HOJA
		Chancador Sanland 900'x1200'		1		Claudio Basáez		1
		COMPONENTE		SUB-SISTEMA N°		FECHA		DE
		Eje excéntrico		1.2		23-06-2025		1
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFECTO DE LA FALLA		
1	Transformar el movimiento rotativo del	A	Movimiento oscilante insuficiente de la mandíbula móvil.	1	Desgaste o daño en los rodamientos del eje excéntrico.	Deformación del bastidor debido a esfuerzos mecánicos o fatiga estructural.		

motor en un movimiento oscilante de la mandíbula móvil, permitiendo la trituración eficiente del material.	B	Bloqueo o atascamiento del eje excéntrico.	1	Ingreso de material no triturable en la cámara de trituración, generando sobrecarga.	Detención súbita del movimiento de la mandíbula móvil, causando paradas no programadas y posibles daños en otros componentes.
			2	Rodamiento agripado.	No gira el eje provocando una detención total en el chancador.
	C	Desgaste prematuro del eje excéntrico.	1	Falta de lubricación adecuada en los puntos de apoyo del eje.	Incremento de la fricción y temperatura, acelerando el desgaste y reduciendo la vida útil del eje.
			2	Presencia de partículas abrasivas en el lubricante.	Erosión de las superficies del eje y cojinetes, provocando fallas prematuras.
	D	Desalineación del eje excéntrico.	1	Instalación incorrecta.	Movimiento irregular de la mandíbula móvil, reduciendo la eficiencia de trituración y aumentando el desgaste de componentes asociados.
			2	Desgaste de descansos.	Aumento de fricción con el eje excéntrico, aumento de temperatura en descanso y deterioro acelerado pudiendo terminar en falla catastrófica.
			3	Desgaste de laberintos en rodamientos.	Movimientos axiales del eje no deseados provocando vibraciones excesivas y deterioro en otros componentes del equipo.

Tabla 5.4: Hoja de decisión de eje excéntrico de chancador Sanland 900'x1200'.

HOJA DE DECISIÓN RCM			ACTIVO				SISTEMA N°				FACILITADOR				HOJA	
			Chancador Sanland 900'x1200'				1				Claudio Basáez				1	
			COMPONENTE				SUB-SISTEMA N°				FECHA				DE	
			Eje excéntrico				1.2				23-06-2025				1	
Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas		Frecuencia Inicial	A realizar por
							S1	S2	S3							
							O1	O2	O3							
							N1	N2	N3							
F	FF	MF	H	S	E	O				H4	H5	S4				
1	A	1	N					S						Medición de temperatura de rodamientos.	Dia por medio	Mantenimiento

1	B	1	S	N	N	S	N	N	N			Se requiere de componente que sea capaz de detectar inchancables previo al ingreso de la cámara de trituración el chancador.		
1	B	2	S	N	N	S	S					Medición de temperatura de rodamiento y control de engrase.	Dia por medio	Mantenimiento
1	C	1	N				S					Control correcto de engrase y que este engrasando.	Cada 7 días	Mantenimiento
1	C	2	N				S					Toma de muestra de grasa para posterior análisis de lubricante.	Mensual	Planificación
1	D	1	N				S					Análisis de vibraciones.	Mensual	Planificación
1	D	2	N				S					Análisis de vibración y temperatura en rodamientos/pitman/eje excéntrico.	Mensual	Planificación
1	D	3	N				S					Análisis de vibración y temperatura en rodamientos/pitman/eje excéntrico.	Mensual	Planificación

5.3 Excéntrica

Tabla 5.5: Hoja de información de excéntrica de chancador Sanland SH220.

HOJA DE INFORMACIÓN RCM		ACTIVO		SISTEMA N°		FACILITADOR		HOJA
		Chancador Sanland SH220		2		Claudio Basáez		1
		COMPONENTE		SUB-SISTEMA N°		FECHA		DE
		Excéntrica		2.2		23-06-2025		1
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFECTO DE LA FALLA		
1	Transmitir el movimiento rotacional en el eje	A	No transmite adecuadamente el movimiento rotacional hacia la	1	Desgaste excesivo en las superficies de contacto.	Pérdida de eficiencia en la trituración y reducción en la producción diaria.		

principal para generar el movimiento oscilante del manto, permitiendo la trituración eficiente del mineral		cabeza en el eje principal.	2	Falta de lubricación adecuada en las superficies de contacto.	Calentamiento excesivo y posible agarrotamiento del sistema de transmisión.
			3	Deformación de la excéntrica debido a sobrecarga o fatiga.	Vibraciones anormales y posibles daños en componentes adyacentes.
	B	Pierde la capacidad de mantener la alineación adecuada con el eje principal.	1	Holgura excesiva entre la excéntrica y el eje.	Desalineación del sistema y aumento del desgaste en el manto y cóncavo.
			2	Fisuras o fracturas en la excéntrica.	Paradas no programadas y riesgo de falla catastrófica.

Tabla 5.6: Hoja de decisión de excéntrica de chancador Sanland SH220.

HOJA DE DECISIÓN RCM				ACTIVO				SISTEMA N°				FACILITADOR				HOJA
				Chancador Sanland SH220				2				Claudio Basáez				1
				COMPONENTE				SUB-SISTEMA N°				FECHA				DE
				Excéntrica				2.2				23-06-2025				1
Referencia de Información				Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por
								S1	S2	S3						
								O1	O2	O3						
								N1	N2	N3						
								F	FF	MF						
1	A	1	N					S						Metrología de componente en superficies de contacto.	1 año	Mantenimiento
1	A	2	N					S						Cambio de aceite, monitoreo de parámetros de bomba de lubricación.	1800 horas/Diario	Planificación/Mantenimiento
1	A	3	N					S						Revisar torques de pernos, ajustándolos al adecuado.	Cada cambio de revestimientos	Mantenimiento

1	B	1	N					S					Cuidar que se instala con las tolerancias correctas y realizar metrología del componente.	Cada 1 año	Mantenimiento
1	B	2	N					N	N	N	N	S	Ensayo no destructivo a excéntrica.	Cada cambio de revestimientos	Mantenimiento

5.4 Cilindros hidráulicos de traba

Tabla 5.7: Hoja de información de cilindros hidráulicos de traba de chancador Sanland SH220.

HOJA DE INFORMACIÓN RCM		ACTIVO		SISTEMA N°		FACILITADOR		HOJA
		COMPONENTE		SUB-SISTEMA N°		FECHA		DE
		Chancador Sanland SH220		2		Claudio Basáez		1
		Cilindros hidráulicos de traba		2.3		23-06-2025		1
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFECTO DE LA FALLA		
1	Retraer el anillo superior del chancador (portacócavo) automáticamente ante presencia de sobrecarga o intrituras, permitiendo la apertura temporal de la cámara de trituración y evitando daños estructurales.	A	No retrae el portacócavo durante sobrecarga.	1	Electro válvula bloqueada.	El cilindro no libera presión y el sistema queda bloqueado frente a intrituras.		
				2	Fugas internas por desgastes de sellos.	El cilindro pierde presión y no alcanza la carrera completa.		
				3	Daño en flexibles de línea hidráulica.	Caída súbita de presión y pérdida de capacidad de respuesta.		
		B	Retracción lenta o incompleta.	1	Acumulador defectuoso.	No se genera fuerza suficiente para retraer.		
		C	No mantiene la presión de traba durante operación.	1	Fuga externa.	Riesgo de apertura no controlada del portacócavo.		
		D	Se activa sin orden de control.	1	Fallo en válvulas solenoides.	Liberación inesperada del cilindro.		

Tabla 5.8: Hoja de decisión de cilindros hidráulicos de traba de chancador Sanland SH220.

HOJA DE DECISIÓN RCM			ACTIVO				SISTEMA N°				FACILITADOR				HOJA
			Chancador Sanland SH220				2				Claudio Basáez				1
			COMPONENTE				SUB-SISTEMA N°				FECHA				DE
			Cilindros de traba hidráulicos				2.3				23-06-2025				1
Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por
							S1	S2	S3						
F	FF	MF	H	S	E	O				H4	H5	S4			
1	A	1	N				S						Realizar mantenencias periódicas a electroválvulas cuidando que funcionen correctamente.	Cada cambio de revestimiento	Mantenimiento
1	A	2	S	N	S		N	N	S				Retiro de cilindro que presente fugas internas y sustitución por uno nuevo.	1 año	Mantenimiento
1	A	3	N				S						Inspeccionar flexibles, niples, conectores en línea hidráulica con objetivo de prevenir daños en distintos puntos de las líneas hidráulicas.	Semanal	Mantenimiento
1	B	1	N				S						Medir presiones a los acumuladores (1500 psi).	Cada cambio de revestimiento	Mantenimiento
1	C	1	S	N	S		N	N	S				Cambiar cilindro de traba cuando presente una fuga externa.	1 año	Mantenimiento

1	D	1	S	N	N	S	N	N	S				Sustituir válvula por una stand by en correcto funcionamiento.	2 años	Mantenimiento
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	--	--	--	--	--------	---------------

5.5 Bomba de sistema hidráulico y lubricación

Tabla 5.9: Hoja de información de bomba de sistema hidráulico y de lubricación de chancador Trio TC – 66.

HOJA DE INFORMACIÓN RCM		ACTIVO		SISTEMA N°		FACILITADOR		HOJA			
		Chancador Trio TC - 66		3		Claudio Basáez		1			
		COMPONENTE		SUB-SISTEMA N°		FECHA		DE			
		Bomba de aceite		3.4		23-06-2025		1			
FUNCIÓN			FALLA FUNCIONAL			MODO DE FALLA			EFECTO DE LA FALLA		
1	Suministrar un flujo constante y adecuado de aceite lubricante a los componentes críticos de la trituradora de cono, como bujes, engranajes y socket liner, para reducir la fricción, disipar el calor y prevenir el desgaste prematuro.	A	No suministra el caudal de aceite requerido.	1	Daño en los engranajes internos de la bomba.	Insuficiente lubricación, aumento de fricción y riesgo de daño en componentes.					
				2	Cavitación debido a entrada de aire en la línea de succión.	Pérdida de eficiencia de la bomba y posible daño por vibraciones internas.					
				3	Obstrucción en la línea de succión.	Reducción del flujo de aceite y sobrecalentamiento de componentes.					
		B	No mantiene la presión de aceite dentro de los rangos operativos.	1	Fugas internas por sellos desgastados.	Pérdida de presión, lubricación deficiente y posible daño en componentes críticos.					
				2	Válvula de alivio de presión atascada.	Presión excesiva o insuficiente, riesgo de daño en el sistema de lubricación.					
				3	Temperatura del aceite fuera de rango.	Cambio en la viscosidad del aceite, afectando la presión y la eficiencia de lubricación.					

		C	Operación intermitente.	1	Fallo en el motor eléctrico de accionamiento.	Interrupción completa del suministro de aceite, riesgo de daño severo en componentes.
		D	Contaminación del aceite lubricante.	1	Ingreso de partículas sólidas o agua al sistema.	Desgaste acelerado de componentes y reducción de la vida útil del aceite.

Tabla 5.10: Hoja de decisión de bomba de sistema hidráulico y de lubricación de chancador Trio TC - 66.

HOJA DE DECISIÓN RCM				ACTIVO				SISTEMA N°					FACILITADOR					HOJA
				Chancador Trio TC - 66				3					Claudio Basáez					1
				COMPONENTE				SUB-SISTEMA N°					FECHA					DE
				Bomba de lubricante				3.3					10-06-2025					1
Referencia de Información				Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"				Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por	
								S1	S2	S3								
								O1	O2	O3								
								N1	N2	N3								
F	FF	MF	H	S	E	O				H4	H5	S4						
1	A	1	S	N	N	S	S						Inspección a bomba con particular atención a ruidos o vibraciones anormales, fugas o daño en línea hidráulica en la succión de la bomba.	Diaria	Operaciones			
1	A	2	S	N	N	S	S											
1	A	3	S	N	N	S	S											
1	B	1	N				S											
1	B	2	N				S						Inspección de válvulas de la unidad hidráulica del equipo cuidando que estén funcionando correctamente.	Diaria	Operaciones			

1	B	3	S	N	N	S	S							Inspección de temperatura del lubricante en unidad hidráulica del equipo, especialmente los días donde el clima sea más caluroso de lo normal.	Diaria	Operaciones
1	C	1	S	N	N	S	S							Medición de consumo de motor eléctrico, termografía a rodamientos y prueba de aislación.	Semanal	Mantenimiento eléctrico
1	D	1	N				S							Inspección a malla filtrante en estanque de unidad hidráulica, y al lubricante con atención a existencia de partículas sólidas o agua en el lubricante.	Diaria	Operaciones

5.6 Motor hidráulico

Tabla 5.11: Hoja de información de motor hidráulico de chancador Trio TC - 66.

HOJA DE INFORMACIÓN RCM		ACTIVO	SISTEMA N°	FACILITADOR	HOJA
		Chancador Trio TC - 66	3	Claudio Basáez	1
		COMPONENTE	SUB-SISTEMA N°	FECHA	DE
		Motor hidráulico ajuste	3.3	10-06-2025	1
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA	
1	Generar movimiento rotacional controlado para accionar el engranaje de ajuste del	A No genera movimiento rotacional para accionar el sistema de ajuste.	1 Fugas internas por desgaste de sellos.	No se transmite presión hidráulica suficiente para accionar el eje de ajuste.	

	soporte del cóncavo, permitiendo regular la apertura entre el manto y el cóncavo dentro de los rangos operativos definidos.			2	Bloqueo interno por contaminación del fluido.	Pérdida completa de movimiento, se detiene el ajuste.
				3	Daño en el eje de salida.	Movimiento inconsistente o desalineado del engranaje de ajuste.
		B	Gira con torque insuficiente.	1	Baja presión en la línea hidráulica.	No logra vencer la resistencia del sistema de engranajes.
				2	Obstrucción parcial en válvulas.	Movimiento lento, fuera de tiempo o sin precisión.
		C	Funciona intermitentemente.	1	Falla en el solenoide de activación.	Ajustes erráticos o interrupción del ciclo de posicionamiento.
		D	Se activa fuera de rango.	1	Falla en la señal de control desde PLC.	Movimiento inesperado del soporte del cóncavo, riesgo de daño en cámara de trituración.

Tabla 5.12: Hoja de decisión de motor hidráulico de chancador Trio TC - 66.

HOJA DE DECISIÓN RCM				ACTIVO				SISTEMA N°				FACILITADOR				HOJA			
				Chancador Trio TC - 66				3				Claudio Basáez				1			
				COMPONENTE				SUB-SISTEMA N°				FECHA				DE			
				Motor hidráulico				3.3				10-06-2025				1			
Referencia de Información				Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas		Frecuencia Inicial		A realizar por	
								S1	S2	S3									
								O1	O2	O3									
								N1	N2	N3									
F	FF	MF	H	S	E	O				H4	H5	S4							
1	A	1	S	N	N	S	N	S						Cambio de sellos de motor hidráulico.	6 meses	Mantenimiento			
1	A	2	S	N	N	S	S							Análisis de lubricante del equipo.	2000 horas	Planificación			

1	A	3	S	N	N	S	S							Inspección al estado del eje del motor hidráulico de ajuste con objetivo de identificar daños o deformaciones.	Semanal	Mantenimiento
1	B	1	S	N	N	N	S							Chequeo de presión del sistema hidráulico.	Diario	Operaciones
1	B	2	S	N	N	N	S							Chequeo de accionamiento de válvulas con objetivo de identificar accionamientos incompletos u obstrucciones parciales.	Semanal	Mantenimiento
1	C	1	S	N	N	N	N	N	S					Cambio de solenoide de activación por uno con funcionamiento correcto.	6 meses	Mantenimiento
1	D	1	S	N	N	N	S							Chequeo y prueba de accionamientos de todos los solenoides del sistema con objetivo de identificar fallas en las señales de control del PLC.	1 mes	Mantenimiento eléctrico

6. CAPÍTULO VI: ANALISIS ECONOMICO E IMPLEMENTACIÓN

El presente apartado tiene como objetivo realizar una evaluación económica del plan de mantenimiento propuesto para los chancadores primario, secundario y terciario de la línea de chancado. El análisis compara la situación actual, caracterizada por fallas no programadas y mantenimiento predominantemente reactivo, con un escenario proyectado basado en la implementación de la metodología RCM.

La evaluación considera los costos actuales asociados a detenciones no planificadas, así como los costos estimados para la ejecución del plan, incorporando actividades de monitoreo de condición y mantenimientos planificados. Se estiman los beneficios económicos y el impacto en la disponibilidad operacional. Para finalizar se detallará la manera de implementar los planes elaborados.

6.1 Situación actual

Actualmente, la planta presenta un promedio mensual de 116 horas de mantenimiento total, lo que equivale a una disponibilidad promedio del 84,4%.

De estas horas:

- 60 horas/mes corresponden a mantenimiento programado fijo.
- 36,63 horas/mes son mantenimientos no programados asociados a fallas en alguno de los tres chancadores.
- El resto corresponde a mantenimientos no programados en otros equipos de la planta.

Las detenciones no programadas de la línea de chancado generan pérdidas de producción, dado que el mineral procesado por los chancadores alimenta a un stock pile que abastece a la molienda. Sin embargo, la molienda procesa aproximadamente 1.900 toneladas diarias, frente a las 2.300 toneladas diarias procesadas por chancado, lo que otorga cierta capacidad de desacople entre ambas líneas.

En este análisis se considera que la planta puede seguir operando en molienda por un período de autonomía de 5 horas y 12 horas sin chancar, reduciendo así el impacto económico de las detenciones de chancado.

6.2 Costos actuales por detenciones no programadas en chancadores

- Horas promedio de detención mensual no programada: 36,63 horas.
- Costo por hora de detención: USD 7.000.
- Costo mensual bruto sin autonomía:

$$36,63 \text{ horas} \times 7.000 \text{ USD/h} = 256.410 \text{ USD/mes}$$

Aplicando el criterio de autonomía:

Tabla 6.1: Costo mensual por no producción de chancadores en distintos escenarios de autonomía.

Escenario de Autonomía	Horas afectadas	Costo mensual por no producción
Sin autonomía	36,63 h	USD 256.410
5 h autonomía	31,63 h	USD 221.410
12 h autonomía	24,63 h	USD 172.410

6.3 Costos de implementación del plan RCM

El plan de mantenimiento propuesto considera actividades de monitoreo de condición como principales costos adicionales, mientras que el resto de las tareas son ejecutadas con personal interno sin costo adicional relevante.

Costos mensuales por monitoreo externo:

- Análisis de lubricantes: USD 1.180 (50 muestras mensuales).
- Análisis de vibraciones: USD 2.000 (4 equipos monitoreados por mes).

Costo total mensual de monitoreo:

$$1.180 + 2.000 = 3.180 \text{ USD/mes}$$

Por lo que el costo único de implementación del plan de RCM es de 3.180 USD mensualmente.

6.4 Estimación de beneficios

El beneficio económico se estima a partir de la reducción de detenciones no programadas en los tres chancadores. Se evalúan tres escenarios: conservador (40%), base (60%) y optimista (80%) de reducción de horas no programadas.

Tabla 6.2: Beneficio neto mensual en USD.

Reducción (%)	Horas reducidas (mes)	Desacople considerado	Horas efectivas con impacto (mes)	Beneficio mensual
40%	14,7	0 h	14,7	USD 102.900
		5 h	9,7	USD 67.900
		12 h	2,7	USD 18.900
60%	22	0 h	22	USD 154.000
		5 h	17	USD 119.000
		12 h	10	USD 70.000
80%	29,3	0 h	29,3	USD 205.100
		5 h	24,3	USD 170.000
		12 h	17,3	USD 121.100

6.5 Impacto en la disponibilidad operacional

Actualmente, la disponibilidad de la planta es de 84,4% con un total de 116 horas/mes de mantenimiento en promedio de los últimos 12 meses. El plan RCM actúa sobre las 36,6 horas/mes de mantenimiento no programado de los chancadores.

Tabla 6.3: Reducción de horas no programadas y disponibilidad resultante.

Escenario	Horas reducidas	Horas totales/mes	Disponibilidad resultante
40%	14,6 h	101,3 h	86%
60%	22 h	94 h	87%
80%	29,3 h	86,7 h	88%

Este incremento en la disponibilidad repercute directamente en una mayor confiabilidad operativa, reduciendo la frecuencia de paradas no programadas y optimizando la utilización de recursos.

6.6 Proceso de implementación de planes de mantenimiento RCM

La implementación de los planes de mantenimiento desarrollados bajo la metodología RCM se realizará mediante Fiix, un sistema CMMS (Computerized Maintenance Management System) en la nube desarrollado por Rockwell Automation. Esta plataforma permite gestionar de forma centralizada las actividades de mantenimiento, activos e inventario, facilitando la planificación, asignación y seguimiento de las tareas en tiempo real.

En este sistema se cargarán los planes elaborados, definiendo la frecuencia, alcance y responsables de cada actividad. Este sistema permite generar órdenes de trabajo automáticas con instrucciones y listas de verificación, priorizar intervenciones según su criticidad y emitir alertas para asegurar el cumplimiento de los plazos establecidos.

Asimismo, ofrece un registro completo de la información técnica y del historial de intervenciones de cada activo, organizado por jerarquías y ubicaciones, con la posibilidad de acceder a estos datos mediante códigos QR desde dispositivos móviles. En el ámbito del inventario, el software controla niveles mínimos de repuestos, genera

avisos de reposición y puede integrarse con sistemas ERP para optimizar el abastecimiento.

La plataforma también incorpora paneles de control con indicadores clave como MTBF, MTTR, costes y cumplimiento de tareas, lo que permite evaluar de forma continua el impacto del plan de mantenimiento sobre la disponibilidad y confiabilidad de los equipos.

CONCLUSIONES

El desarrollo de planes de mantenimiento basados en la metodología Reliability Centered Maintenance (RCM) para los equipos críticos de la línea de chancado de la planta concentradora de cobre de Tambillos permitió abordar de manera estructurada y técnica las principales limitaciones del sistema actual, caracterizado por una alta dependencia del mantenimiento reactivo y la ausencia de estrategias preventivas sistematizadas.

La aplicación del análisis de criticidad mediante la metodología MCR, adaptada al contexto con datos semicuantitativos y cualitativos debido a la carencia de registros históricos completos, permitió identificar y priorizar como equipos críticos al chancador de mandíbula Sanland 900'x1200', y a los chancadores de cono Sanland SH220 y Trio TC-66. Sobre esta base, se llevó a cabo un análisis FMEA que permitió determinar los modos de falla más relevantes, sus causas y consecuencias, definiendo para cada uno acciones de mantenimiento preventivo, predictivo, inspecciones operacionales y potenciales mejoras de diseño.

En el caso del chancador de mandíbula se identificaron 65 modos de falla, de los cuales 39 presentan consecuencias de fallo oculto, 8 están asociados a seguridad y medio ambiente, y 18 corresponden a fallas con consecuencias operacionales. Por su parte, en los chancadores de cono se identificaron 85 modos de falla para cada equipo, con distribución en 40 consecuencias de fallos ocultos, 6 para seguridad y medio ambiente, 33 de carácter operacional y 6 no operacionales. Estos resultados permiten visualizar con mayor claridad las áreas críticas donde la aplicación de estrategias de mantenimiento resulta más relevante para asegurar la continuidad de la operación.

Los resultados económicos evidencian que la implementación del plan RCM, con una inversión inicial de USD 3.800 y un costo mensual recurrente de este mismo monto por monitoreo de condición, ofrece un retorno de la inversión prácticamente inmediato, con recuperación en menos de un mes incluso bajo el escenario más conservador. Además, se proyecta un aumento de la disponibilidad operacional entre +1,6 y +3,6 puntos porcentuales logrando en el mejor de los casos 89% acercándose a

la media de disponibilidad de plantas de chancado en Chile de 90% (Comisión Nacional de Productividad, 2017), acompañado de ahorros mensuales que superan ampliamente los costos. La autonomía del stock pile se confirma como un factor clave para mitigar el impacto económico de detenciones, destacando el escenario de 12 horas como óptimo para desacoplar la operación frente a eventos de mantenimiento no programado.

En síntesis, el trabajo demuestra que la adopción de una estrategia RCM no solo es técnica y económicamente viable, sino que también contribuye de manera significativa a la optimización de recursos, a la reducción de fallas inesperadas y al aumento sostenido de la confiabilidad y disponibilidad de la línea de chancado. Su implementación representa una oportunidad concreta para avanzar hacia una gestión de mantenimiento proactiva, orientada a maximizar la productividad y asegurar la continuidad operacional de la planta.

REFERENCIAS

Banco Central de Chile. (2025). Base de Datos Estadísticos (BDE), Estadísticas Monetarias y Financieras: Exportaciones de bienes [en línea]. Santiago, Chile. https://si3.bcentral.cl/Siete/ES/Siete/Cuadro/CAP_DYB/MN_BDP42/BP6M_EXPOR_T/BP6M_EXPORT?cbFechaInicio=2024&cbFechaTermino=2024&cbFrecuencia=ANNUAL&cbCalculo=NONE&cbFechaBase=%20 [consulta: 22 julio 2025]

Botto G., Sergio; Punolef D., Daniel; Rey P., Sebastián. (2003). *Mantenimiento de un Chancador Sandvik H-8000*. INFORME FINAL [en línea]. Santiago, Chile: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Mecánica, ME57A - Mantenimiento de Maquinaria. Figura 3: Diagrama Funcional de bloques, pág. 11. https://www.ucursos.cl/ingenieria/2009/2/ME57A/1/material_docente/bajar?id_material=238257 [consulta: 22 julio 2025]

Cochilco. (2024). *Producto Interno Bruto por Clase de Actividad Económica, a precios corrientes*.

Comisión Nacional de Productividad. (2017). Consejo Minero; MatrixConsulting. *Estudio de productividad en la gran minería del cobre. Benchmark de indicadores de productividad* [en línea]. Santiago, Chile, 22 de marzo de 2017. <https://www.cnep.cl/wp-content/uploads/2018/06/Nota-t%C3%A9cnica-3.-Estudio-de-productividad-en-la-gran-miner%C3%ADa-del-cobre-%E2%80%93-Benchmark-de-indicadores-de-productividad-MatrixConsulting.pdf> [consulta: 15 de mayo 2025]

Mora, Luis Alberto. (2009). *Mantenimiento: Planeación, ejecución y control*. Alfaomega.

Moubray, J. (2000). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*. Lutterworth, United Kingdom: Aladon Ltd.

Nowlan, F. S., & Heap, H. F. (1978). *Reliability-Centered Maintenance*. Report prepared for United Airlines and the U.S. Department of Defense.

Stamatis, D. H. (2003). *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution*. Milwaukee, United States: ASQ Quality Press.

Wireman, T. (2004). *Developing Performance Indicators for Managing Maintenance*. New York: Industrial Press.

ANEXOS

Anexo A: Hoja de información de volante de inercia de chancador Sanland 900'x1200'.

HOJA DE INFORMACIÓN RCM		ACTIVO		SISTEMA N°		FACILITADOR		HOJA
		Chancador Sanland 900'x1200'		1		Claudio Basáez		1
		COMPONENTE		SUB-SISTEMA N°		FECHA		DE
		Volante de inercia		1.1		20-04-2025		1
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFECTO DE LA FALLA		
1	Almacenar y regular la energía cinética para mantener un movimiento uniforme de la mandíbula móvil, permitiendo triturar mineral.	A	Pérdida de capacidad para mantener la energía cinética necesaria.	1	Desgaste en pistas o canales.	Funcionamiento irregular del volante, aumento de la fricción y posible sobrecalentamiento, afectando la eficiencia del chancador.		
				2	Desbalanceo de volante.	Aumento de vibraciones, rotura de pernos de tapa.		
				3	Desprendimiento de chaveta.	Movimiento errático del volante, riesgo de desprendimiento y daños en el sistema de transmisión.		
				4	Corte, soldadura, desprendimiento o torsión de correas.	Pandeo de correos y ruidos anormales.		
		B	Funcionamiento irregular.	1	Acumulación de material en el volante.	Vibraciones excesivas, desgaste prematuro de componentes adyacentes y reducción en la eficiencia de trituración		

Anexo B: Hoja de decisión de volante de inercia de chancador Sanland 900'x1200'.

HOJA DE DECISIÓN RCM				ACTIVO				SISTEMA N°				FACILITADOR				HOJA			
				Chancador Sanland 900'x1200'				1				Claudio Basáez				1			
				COMPONENTE				SUB-SISTEMA N°				FECHA				DE			
				Volante de inercia				1				26-04-2025				1			
Referencia de Información				Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas		Frecuencia Inicial		A realizar por	
								S1	S2	S3									
F	FF	MF		H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4						
1	A	1		S	N	N	S	S									Inspección de pistas de rodadura.	3 meses	Mantenimiento

1	A	2	N				S						Metrología al volante cuidando que aun cumpla con dimensiones originales o con variaciones tolerables.	12 meses	Mantenimiento
1	A	3	S	S			S						Inspección de sujeción de chaveta.	3 meses	Mantenimiento
1	A	4	S	N	N	S	N	N	S				Cambio de correas.	4 meses	Mantenimiento
1	B	1	N				N	S					Limpieza volante.	Semanal	Operaciones

Anexo C: Hoja de información de pitman de chancador Sanland 900'x1200'.

HOJA DE INFORMACIÓN RCM		ACTIVO		SISTEMA N°		FACILITADOR		HOJA
		Chancador Sanland 900'x1200'		1		Claudio Basáez		1
		COMPONENTE		SUB-SISTEMA N°		FECHA		DE
		Pitman		1.1		12-05-2025		1
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFECTO DE LA FALLA		
1	Transmitir el movimiento rotativo del eje excéntrico a la mandíbula móvil para comprimir y triturar el mineral.	A	No transmite adecuadamente el movimiento del eje excéntrico a la mandíbula móvil.	1	Fisura crítica en pitman.	Paro no programado del equipo, necesidad de reparaciones mayores y riesgo de daños colaterales en el sistema de trituración.		
				2	Deformación permanente.	Paro no programado del equipo, necesidad de reparaciones mayores y riesgo de daños colaterales en el sistema de trituración.		
				3	Aflojamiento o corte de pernos tensores.	Fractura en el puente y sufrideras, y exceso de vibraciones, golpeteo y pérdida de sincronismo.		
				4	Fisura parcial.	Movimiento errático de la mandíbula móvil, reducción en la eficiencia de trituración y posible daño a otros componentes.		
		B	Transmite vibraciones excesivas al conjunto estructural.	1	Desgaste excesivo en superficies de apoyo.	Vibraciones excesivas, incremento del desgaste en componentes adyacentes y reducción de la vida útil del equipo.		
				2	Desalineación o desplazamiento del pitman.	Funcionamiento ineficiente, aumento del consumo energético y posible fallo prematuro del chancador.		

Anexo D: Hoja de decisión de pitman de chancador Sanland 900'x1200'.

HOJA DE DECISIÓN RCM				ACTIVO				SISTEMA N°				FACILITADOR				HOJA				
				Chancador Sanland 900'x1200'				1				Claudio Basáez				1				
				COMPONENTE				SUB-SISTEMA N°				FECHA				DE				
				Pitman				1.1				26-06-2025				1				
Referencia de Información				Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"				Tareas Propuestas		Frecuencia Inicial		A realizar por	
								S1	S2	S3										
								O1	O2	O3										
								N1	N2	N3										
F	FF	MF	H	S	E	O				H4	H5	S4								
1	A	1	N				N	N	S				Cambio de pitman.	3 años	Mantenimiento					
1	A	2	N				S						Metrología de asentamiento muelas.	200000 toneladas procesadas	Mantenimiento					
1	A	3	S	S			S						Medición de longitud de resorte.	7 días	Mantenimiento					
1	A	4	N				S						Inspección visual con objetivo de identificar fisuras parciales.	14 días	Mantenimiento					
1	B	1	N				S						Metrología de asentamiento muelas.	200000 toneladas procesadas	Mantenimiento					
1	B	2	S	N	N	S	S						Topografía a equipo general.	6 meses	Empresa de servicios externa					

Anexo E: Hoja de información de sistema de ajuste de chancador Sanland 900'x1200'.

HOJA DE INFORMACIÓN RCM		ACTIVO		SISTEMA N°		FACILITADOR		HOJA	
		Chancador Sanland 900'x1200'		1		Claudio Basáez		1	
		COMPONENTE		SUB-SISTEMA N°		FECHA		DE	
		Sistema de ajuste		1.1		26-06-2025		1	
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFECTO DE LA FALLA			
1	Regular y mantener la apertura de descarga del chancador	A	Incapacidad para ajustar la apertura de descarga.	1	Acumulación de material o residuos en el mecanismo de ajuste, impidiendo su movimiento.	Imposibilidad de modificar el tamaño del producto final, afectando la eficiencia y calidad del proceso de trituración.			

para controlar el tamaño del producto triturado, asegurando una reducción del mineral entre 3 y 4 pulgadas	B		2	Excesivo desgaste de conjunto puente-sufridera.	Dificultad o imposibilidad para realizar ajustes, resultando en tamaños de producto inconsistentes.
			3	Desgaste de mecanismo de ajuste.	Ajuste limitado de setting no pudiéndose obtener el ajuste deseado.
		Pérdida de precisión en el ajuste de la apertura.	1	Desalineación de los componentes del sistema de ajuste debido a instalación incorrecta o deformaciones.	Ajustes imprecisos que conducen a una variabilidad en el tamaño del producto final y posible sobrecarga del chancador.
			2	Desgaste de conjunto puente-sufridera.	Dificultad o imposibilidad para realizar ajustes, resultando en tamaños de producto inconsistentes.
			3	Desgaste irregular de muelas.	Setting irregular dejando granulometría fuera de condición.

Anexo F: Hoja de decisión de sistema de ajuste de chancador Sanland 900'x1200'.

HOJA DE DECISIÓN RCM			ACTIVO				SISTEMA N°				FACILITADOR				HOJA				
			Chancador Sanland 900'x1200'				1				Claudio Basáez				1				
			COMPONENTE				SUB-SISTEMA N°				FECHA				DE				
			Sist. de ajuste				2.1				26-04-2025				1				
Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"				Tareas Propuestas		Frecuencia Inicial		A realizar por	
							S1	S2	S3										
							O1	O2	O3										
							N1	N2	N3										
F	FF	MF	H	S	E	O				H4	H5	S4							
1	A	1	S	N	N	S	S							Aseo del área.	7 días	Operaciones			
1	A	2	S	N	N	S	N	N	S					Reemplazo de componentes.	3 meses	Mantenimiento			
1	A	3	N				S							Inspección de sistema de ajuste.	7 días	Mantenimiento			
1	B	1	N				S							Inspección de componentes cuidando que exista una alineación correcta.	7 días	Mantenimiento			
1	B	2	S	N	N	S	S							Inspección de laines de ajuste y altura de placa.	7 días	Mantenimiento			

1	B	3	N				S					Inspección de altura de placa.	7 días	Mantenimiento
---	---	---	---	--	--	--	---	--	--	--	--	--------------------------------	--------	---------------

Anexo G: Hoja de decisión de motor eléctrico de chancador Sanland 900'x1200'.

HOJA DE INFORMACIÓN RCM		ACTIVO		SISTEMA N°	FACILITADOR	HOJA
		Chancador Sanland 900'x1200'		1	Claudio Basáez	1
		COMPONENTE		SUB-SISTEMA N°	FECHA	DE
		Motor Eléctrico		1.2	02-07-2025	1
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFEECTO DE LA FALLA
1	Proporcionar la potencia mecánica necesaria para accionar el sistema de trituración	A	No proporciona la potencia requerida para accionar el sistema de trituración.	1	Bobinado dañado o quemado.	Parada completa del sistema y pérdida de producción.
				2	Fallo en el sistema de alimentación eléctrica.	Interrupciones intermitentes en la operación y reducción de eficiencia.
				3	Desalineación del eje del motor.	Vibraciones excesivas y desgaste prematuro de componentes conectados.
				4	Sobrecalentamiento por ventilación inadecuada.	Disminución de la vida útil del motor y riesgo de fallas catastróficas.
				5	Fallo en los rodamientos internos.	Ruidos anormales, aumento de temperatura y posible bloqueo del motor.
		B	Genera vibraciones o ruidos anormales durante la operación.	1	Desalineación entre el eje del motor y la carga.	Aumento del desgaste en los componentes y posibles daños en el sistema.
				2	Desgaste desigual de los rodamientos.	Funcionamiento inestable y reducción de la eficiencia del sistema.
				3	Holgura excesiva en componentes internos.	Golpeteo interno y posible fractura de componentes.
		C	Presenta sobrecalentamiento bajo condiciones operativas normales.	1	Sobrecarga eléctrica.	Aumento de la temperatura y posible daño en los devanados del motor.
				2	Ventilación obstruida.	Acumulación de calor y reducción de la vida útil del motor.

				3	Acumulación de polvo o contaminantes.	Aislamiento térmico no deseado y sobrecalentamiento.
		D	Sufre fallas eléctricas internas.	1	Cortocircuito en los devanados.	Daño severo en el motor y necesidad de reparación o reemplazo.
				2	Fallo en el aislamiento eléctrico.	Riesgo de descargas eléctricas y daño en otros componentes del sistema.

Anexo H: Hoja de decisión de motor eléctrico de chancador Sanland 900'x1200'.

HOJA DE DECISIÓN RCM				ACTIVO				SISTEMA N°					FACILITADOR					HOJA			
				Chancador Sanland 900'x1200'				1					Claudio Basáez					1			
				COMPONENTE				SUB-SISTEMA N°					FECHA					DE			
				Motor eléctrico				1.5					01-05-2025					1			
Referencia de Información				Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"				Tareas Propuestas			Frecuencia Inicial		A realizar por	
								S1	S2	S3											
								O1	O2	O3											
								N1	N2	N3											
F	FF	MF	H	S	E	O				H4	H5	S4									
1	A	1	N				S							Mediciones de aislación al bobinado.	4 meses	Mantención eléctrica					
1	A	2	S	S			S							Revisar corrientes y conexiones de los equipos, en el partidor y motor.	Semanal	Mantención eléctrica					
1	A	3	N				S							Medir temperatura en acople.	Diaria	Mantención eléctrica					
1	A	4	N				S							Limpieza de ventilador.	Semanal	Mantención eléctrica					
1	A	5	S	N	N	S	S							Inspección de ruidos y medición de temperatura.	Semanal	Mantención eléctrica					
1	B	1	N				S							Medir temperatura en acople.	Diaria	Mantención eléctrica					
1	B	2	N				S							Medir temperatura de rodamientos, pruebas en vacío y medición de ruido.	Diaria	Mantención eléctrica					

1	B	3	N					S						Inspeccionar si existe desgaste en el estator al momento de cambiar rodamientos.	3 meses	Mantenimiento eléctrica
1	C	1	S	N	N	S	S							Revisión de corrientes del equipo, esperando que no exista detención.	Diaria	Mantenimiento eléctrica
1	C	2	S	N	N	S	S							Limpieza de ventilador, revisar aspas, retirar piedras.	Semanal	Mantenimiento eléctrica
1	D	1	N				S							Mediciones de aislación al bobinado.	4 meses	Mantenimiento eléctrica
1	D	2	N				S							Mediciones de aislación.	4 meses	Mantenimiento eléctrica
1	D	3	S	N	N	S	S							Medir corriente, revisar cortes de cables, reapriete de terminales.	Semanal	Mantenimiento eléctrica

Anexo I: Hoja de información de bomba de lubricación neumática de chancador Sanland 900'x1200'.

HOJA DE INFORMACIÓN RCM		ACTIVO		SISTEMA N°		FACILITADOR		HOJA	
		Chancador Sanland 900'x1200'		1		Claudio Basáez		1	
		COMPONENTE		SUB-SISTEMA N°		FECHA		DE	
		Bomba de lubricación neumática		1.3		29-04-2025		1	
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFECTO DE LA FALLA			
1	Suministrar grasa de manera intermitente a los puntos críticos de la trituradora, como rodamientos	A	No suministra grasa al sistema de rodamientos.	1	Pérdida de presión por fuga en línea o conexiones.	Ausencia de lubricación, aumento de fricción, desgaste acelerado de rodamientos.			
				2	Obstrucción de línea por grasa endurecida.	Bloqueo del suministro, zonas secas en el punto de lubricación.			

	de pitman y eje excéntrico.	B	Suministra caudal de grasa insuficiente	1	Pérdida de estanqueidad interna en la bomba.	Lubricación parcial, elevación de temperatura en rodamientos.
				2	Fallo en el actuador neumático por pérdida de aire.	Disminución del ciclo de bombeo, pérdida de eficacia del sistema.

Anexo J: Hoja de decisión de bomba de lubricación neumática de chancador Sanland 900'x1200'.

HOJA DE DECISIÓN RCM				ACTIVO				SISTEMA N°				FACILITADOR				HOJA	
				Chancador Sanland 900'x1200'				1				Claudio Basáez				1	
				COMPONENTE				SUB-SISTEMA N°				FECHA				DE	
				Bomba de lubricación neumática				1.3				12-06-2025				1	
Referencia de Información				Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por	
								S1	S2	S3							
								O1	O2	O3							
								N1	N2	N3							
F	FF	MF	H	S	E	O				H4	H5	S4					
1	A	1	S	N	N	S	S							Verificación línea de presión, ajuste de conexiones.	Semanal	Mantenimiento	
1	A	2	S	N	N	S	S							Limpieza y purga de línea de grasa.	Trimestral	Mantenimiento	
1	B	1	S	N	N	S	S							Revisión de estanqueidad y reemplazo de retenedores de bomba.	Trimestral	Planificación	
1	B	2	S	N	N	S	S							Control de presión de aire y limpieza de válvulas neumáticas.	Mensual	Mantenimiento	

Anexo K: Hoja de información de líneas de lubricación de chancador Sanland 900'x1200'.

HOJA DE INFORMACIÓN RCM		ACTIVO		SISTEMA N°		FACILITADOR		HOJA	
		Chancador Sanland 900'x1200'		1		Claudio Basáez		1	
		COMPONENTE		SUB-SISTEMA N°		FECHA		DE	

		Líneas de lubricación		1.3		20-04-2025	1
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFECTO DE LA FALLA	
1	Transportar el lubricante desde la bomba hasta los puntos de lubricación, como rodamientos y cojinetes, manteniendo o un flujo continuo y adecuado	A	No conduce el lubricante hacia los puntos de consumo	1	Obstrucción interna.	Falta de lubricación en componentes críticos, aumentando el riesgo de desgaste y fallas mecánicas.	
				2	Aplastamiento o deformación de la línea.	Caída total o parcial del caudal, sobrepresión en la bomba	
		B	Flujo de lubricante reducido	1	Rotura de flexibles.	Pérdida de caudal efectivo, posibles daños en componentes	

Anexo L: Hoja de decisión de líneas de lubricación de chancador Sanland 900'x1200'.

HOJA DE DECISIÓN RCM				ACTIVO				SISTEMA N°				FACILITADOR				HOJA			
				Chancador Sanland 900'x1200'				1				Claudio Basáez				1			
				COMPONENTE				SUB-SISTEMA N°				FECHA				DE			
				Líneas de lubricación				1.3				26-04-2025				1			
Referencia de Información				Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas		Frecuencia Inicial		A realizar por	
								S1	S2	S3									
								O1	O2	O3									
								N1	N2	N3									
F	FF	MF	H	S	E	O				H4	H5	S4							
1	A	1	N				S							Revisión del estado de bomba y líneas.	Diaria	Mantenimiento			
1	A	2	N				S							Revisión del estado de líneas.	Diaria	Mantenimiento			
1	B	1	N				S							Revisión del estado de líneas.	Diaria	Mantenimiento			

Anexo M: Hoja de información de rodamientos de chancador Sanland 900'x1200'.

HOJA DE INFORMACIÓN RCM		ACTIVO		SISTEMA N°		FACILITADOR		HOJA
		Chancador Sanland 900'x1200'		1		Claudio Basáez		1
		COMPONENTE		SUB-SISTEMA N°		FECHA		DE
		Rodamientos		4.1		26-04-2025		1
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFECTO DE LA FALLA		
1	Soportar las cargas y permitir el movimiento rotativo o lineal de los componentes móviles, reduciendo la fricción mediante una lubricación adecuada.	A	Desgaste prematuro de rodamientos.	1	Lubricación insuficiente.	Aumento de la fricción y temperatura, provocando desgaste acelerado y posibles fallas mecánicas.		
				2	Contaminación del lubricante.	Daño en las superficies de contacto, reduciendo la vida útil de los cojinetes y rodamientos.		
		B	Fallo catastrófico de rodamientos.	1	Deformación plástica o permanente.	Rotura de los elementos rodantes o del anillo, causando paradas no programadas y daños en otros componentes.		

Anexo N: Hoja de decisión de rodamientos de chancador Sanland 900'x1200'.

HOJA DE DECISIÓN RCM				ACTIVO				SISTEMA N°						FACILITADOR						HOJA						
				Chancador Sanland 900'x1200'				1						Claudio Basáez						1						
				COMPONENTE				SUB-SISTEMA N°						FECHA						DE						
				Rodamientos				4.1						26-05-2025						1						
Referencia de Información				Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"				Tareas Propuestas				Frecuencia Inicial				A realizar por			
								S1	S2	S3																
								O1	O2	O3																
								N1	N2	N3																
F	FF	MF	H	S	E	O				H4	H5	S4														
1	A	1	N				S							Aforo línea de engrase, termografía y vibraciones.				Diario, semanal, mensual				Mantenimiento				
1	A	2	N				S							Análisis de grasa.				Mensual				Planificación				
1	B	1	N				S							Análisis de vibraciones.				Mensual				Planificación				

Anexo O: Hoja de información de toggle plate de chancador Sanland 900'x1200'.

HOJA DE INFORMACIÓN RCM		ACTIVO		SISTEMA N°		FACILITADOR		HOJA
		Chancador Sanland 900'x1200'		1		Claudio Basáez		1
		COMPONENTE		SUB-SISTEMA N°		FECHA		DE
		Toggle plate		1.4		26-05-2025		1
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFECTO DE LA FALLA		
1	Actuar como un elemento de sacrificio que se rompe en caso de sobrecarga o entrada de material no triturable, protegiendo así los componentes críticos de la trituradora.	A	Pierde su función de fusible mecánico frente a sobrecargas.	1	Deformación sin ruptura bajo carga anormal.	Transmisión de fuerzas excesivas a otros componentes, causando daños graves, rango de setting limitado, incapacidad de transmitir el movimiento		
				2	Desgaste excesivo que reduce la sección crítica.	Pérdida de capacidad de ruptura controlada, aumentando el riesgo de daños estructurales y rango de setting incorrecto.		
				3	Diseño incorrecto que no permite la ruptura controlada.	Fallo en la protección de la trituradora, exponiendo otros componentes a sobrecargas.		
		B	No mantiene su integridad estructural frente a condiciones normales de operación.	1	Fatiga del material por ciclos de carga repetitivos.	Interrupción inesperada de la operación y necesidad de reemplazo.		
				2	Defectos de fabricación como incrustaciones o porosidades.	Rotura de placa, afectando la continuidad operativa.		

Anexo P: Hoja de decisión de toggle plate de chancador Sanland 900'x1200'.

HOJA DE DECISIÓN RCM	ACTIVO	SISTEMA N°				FACILITADOR			HOJA
	Chancador Sanland 900'x1200'	1				Claudio Basáez			1
	COMPONENTE	SUB-SISTEMA N°				FECHA			DE
	Toggle plate	1.4				10-06-2025			1
Referencia de Información	Evaluación de las consecuencias	H1	H2	H3	Tareas "a falta de"	Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por	
		S1	S2	S3					
		O1	O2	O3					
		N1	N2	N3					

F	FF	MF	H	S	E	O				H4	H5	S4			
1	A	1	N				S						Inspección visual.	Semanal	Mantenimiento
1	A	2	N				S						Inspección visual.	Semanal	Mantenimiento
1	A	3	N				S						Control de calidad de repuestos nuevos, revisar que no existan fisuras y dimensiones incorrectas.	A pedido	Planificación
1	B	1	N				S						Inspección visual.	Semanal	Mantenimiento
1	B	2	N				S						Control de calidad de repuestos nuevos, revisar fisuras y dimensiones del componente nuevo cuidando que corresponda al adecuado para el equipo.	A pedido	Planificación

Anexo Q: Hoja de información de detención de emergencia de chancador Sanland 900'x1200'.

HOJA DE INFORMACIÓN RCM		ACTIVO		SISTEMA N°		FACILITADOR		HOJA
		COMPONENTE		SUB-SISTEMA N°		FECHA		DE
		Chancador Sanland 900'x1200'		1		Claudio Basáez		1
		Sistema de detención de emergencia		1.4		26-06-2025		1
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFECTO DE LA FALLA		
1	Permitir la detención inmediata de la trituradora en situaciones de emergencia para proteger al personal y al equipo.	A	No detiene la operación al activarse	1	Fallo en el circuito eléctrico o mecánico del sistema de paro.	Incapacidad para detener la máquina en situaciones críticas, aumentando el riesgo de accidentes		
		B	Desgaste o daño en los contactos del interruptor	1	Desgaste o daño en los contactos del interruptor.	Fallo en la transmisión de la señal de paro		

Anexo R: Hoja de decisión de sistema de detención de emergencia.

HOJA DE DECISIÓN RCM				ACTIVO				SISTEMA N°				FACILITADOR				HOJA	
				Chancador Sanland 900'x1200'				1				Claudio Basáez				1	
				COMPONENTE				SUB-SISTEMA N°				FECHA				DE	
				Sist. Detención de emergencia				1.5				26-06-2025				1	
Referencia de Información				Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por	
								S1	S2	S3							
								O1	O2	O3							
								N1	N2	N3							
F	FF	MF	H S E O							H4	H5	S4					
1	A	1	N					N	N	N	S		Verificación funcional del botón de paro y relé de corte.	Semanal	Mantenimiento		
1	B	1	N					S					Inspección visual y limpieza de contactos del interruptor.	Mensual	Mantenimiento eléctrico		

Anexo S: Hoja de información del manto de chancador Sanland SH220.

HOJA DE INFORMACIÓN RCM	ACTIVO Chancador Sanland SH220				SISTEMA N° 2				FACILITADOR Claudio Basáez				HOJA 1
	COMPONENTE Manto				SUB-SISTEMA N° 2.1				FECHA 20-05-2025				DE 1
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL				MODO DE FALLA				EFECTO DE LA FALLA				
1	Triturar material mineral mediante compresión contra el cóncavo, reduciendo su tamaño para alcanzar una	A	No logra generar la compresión adecuada del mineral.				1	Desgaste excesivo de la superficie de trituración.	Aumento del tamaño de partícula, reducción de eficiencia y recirculación elevada.				
							2	Aplastamiento desigual por deformación del manto.	Sobrecarga del sistema y vibraciones anormales.				

	producción diaria de 2.500 toneladas.	B	Pierde la capacidad de mantenerse firmemente fijado a la cabeza del cono.	1	Aflojamiento del sistema de fijación.	Golpeteos internos, daño estructural y paradas no programadas.
				2	Daño en los pernos de sujeción.	Desalineación del manto y riesgos de daño al eje principal.
		C	No entrega la vida útil esperada antes de requerir reemplazo.	1	Fractura prematura del manto.	Paro imprevisto del equipo y necesidad de cambio urgente.
				2	Defectos de fabricación (porosidad o grietas internas).	Fallo súbito con consecuencias operacionales y de seguridad.

Anexo T: Hoja de decisión del manto de chancador Sanland SH220.

HOJA DE DECISIÓN RCM				ACTIVO				SISTEMA N°						FACILITADOR						HOJA			
				Chancador Sanlad SH220				2						Claudio Basáez						1			
				COMPONENTE				SUB-SISTEMA N°						FECHA						DE			
				Manto				2.1						20-05-2025						1			
Referencia de Información				Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"				Tareas Propuestas			Frecuencia Inicial			A realizar por		
								S1	S2	S3													
								O1	O2	O3													
								N1	N2	N3													
F	FF	MF	H	S	E	O				H4	H5	S4											
1	A	1	S	N	N	S	S							Inspección y ajuste de setting.	Cada 12 horas	Mantenimiento y operaciones							
1	A	2	S	N	N	S	S							Inspección y ajuste de setting.	Cada 12 horas	Mantenimiento y operaciones							
1	B	1	S	N	N	S	N	N	N					Ningún mantenimiento proactivo (apretar si se suelta el ajuste).	A condición	Mantenimiento							
1	B	2	S	N	N	S	N	N	N					Cambiar cuando este dañado.	A condición	Mantenimiento							
1	C	1	S	N	N	S	N	N	N					Cambiarlo al fallar.	A condición	Mantenimiento							

1	C	2	N				S					Inspección visual al momento de la recepción.	A pedido	Mantenimiento y planificación
---	---	---	---	--	--	--	---	--	--	--	--	---	----------	-------------------------------

Anexo U: Hoja de información de cóncavo de chancador Sanland SH220.

HOJA DE INFORMACIÓN RCM		ACTIVO		SISTEMA N°		FACILITADOR		HOJA	
		Chancador Sanland SH220		2		Claudio Basáez		1	
		COMPONENTE		SUB-SISTEMA N°		FECHA		DE	
		Cóncavo		2.1		08-05-2025		1	
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFECTO DE LA FALLA			
1	Proporcionar una superficie fija contra la cual se comprime el mineral, permitiendo su reducción de tamaño hasta lograr una producción diaria continua de 2.500 toneladas.	A	No proporciona una superficie de trituración uniforme.	1	Desgaste irregular o desalineado del revestimiento.	Reducción en eficiencia, aumento de la recirculación de mineral.			
				2	Pérdida de forma geométrica del revestimiento.	Presión dispareja, riesgo de daño al manto y mayor consumo energético.			
		B	No se mantiene firmemente adherido a la carcasa del chancador.	1	Aflojamiento de pernos de sujeción.	Golpeteos internos, daño estructural y riesgo de deslizamiento del componente.			
				2	Daño o deformación en la superficie de asiento.	Desalineación del manto y generación de vibraciones.			
		C	Pierde integridad estructural antes del fin de su vida útil.	1	Formación de grietas o fisuras.	Pérdida de material, contaminación del producto y riesgo de falla catastrófica.			
				2	Corrosión severa en zonas de contacto.	Daño progresivo en la carcasa y reducción de la seguridad operativa.			

Anexo V: Hoja de decisión del cóncavo de chancador Sanland SH220.

HOJA DE DECISIÓN RCM	ACTIVO		SISTEMA N°		FACILITADOR		HOJA	
	Chancador Sanland SH220		2		Claudio Basáez		1	
	COMPONENTE		SUB-SISTEMA N°		FECHA		DE	
	Cóncavo		2.1		08-05-2025		1	

Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por
F	FF	MF	H	S	E	O				H4	H5	S4			
1	A	1	S	N	N	S	S						Inspección y ajuste de setting.	12 horas	Mantenimiento y operaciones
1	A	2	S	N	N	S	S						Inspección y ajuste de setting.	12 horas	Mantenimiento y operaciones
1	B	1	S	N	N	S	N	S					Apretar perno de sujeción si se suelta el ajuste.	A condición	Mantenimiento
1	B	2	S	N	N	S	N	N	S				Cambiar pernos cuando estén dañado.	A condición	Mantenimiento
1	C	1	S	N	N	S	N	N	S				Cambiar cóncavo al presentar una fractura.	A condición	Mantenimiento
1	C	2	N				S						Inspección visual al recepcionar cóncavo cuidando que cumpla con la calidad deseada.	A pedido	Mantenimiento/pla nificación

Anexo W: Hoja de información de cabezal de trituración de chancador Sanland SH220.

HOJA DE INFORMACIÓN RCM		ACTIVO Chancador Sanland SH220		SISTEMA N° 2		FACILITADOR Claudio Basáez		HOJA 1
		COMPONENTE Cabezal de Trituración		SUB-SISTEMA N° 2.1		FECHA 05-05-2025		DE 1
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFECTO DE LA FALLA		
1	Aplicar fuerza mecánica directa al mineral al moverse excéntricamente para reducir su tamaño,	A	No mantiene la trituración adecuada perdiendo la granulometría de descarga esperada.	1	Desalineación del cabezal.	Reducción de eficiencia, desgaste prematuro del manto y cóncavo, aumento de vibraciones.		
				2	Holgura excesiva en el conjunto giratorio.	Vibraciones, impacto mecánico y riesgo de daño en el eje principal.		

permitiendo una producción diaria de 2.500 toneladas y una granulometría de 28 a 32 mm	B	No mantiene la presión de trituración requerida.	1	Desgaste en el socket liner.	Desalineamiento en el eje y desgaste en el socket, head y mainshaft.
			2	Deformación estructural por sobrecarga o fatiga.	Imposibilidad de mantener la fuerza de compresión, necesidad de paro inmediato.
	C	Pierde estabilidad durante la operación.	1	Falla de los dumpers.	Caída o desalineación del cabezal, posible paro inmediato del sistema.

Anexo X: Hoja de decisión de cabezal de trituración de chancador Sanland SH220.

HOJA DE DECISIÓN RCM				ACTIVO				SISTEMA N°				FACILITADOR				HOJA
				Chancador Sanland SH220				2				Claudio Basáez				1
				COMPONENTE				SUB-SISTEMA N°				FECHA				DE
				Cabezal de trituración				2.1				08-05-2025				1
Referencia de Información				Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"	Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por		
								S1	S2	S3						
F	FF	MF	H	S	E	O		N1	N2	N3						
1	A	1	N					S								
1	A	1	S	N	S			S								
1	B	1	N					N	N	N	S					
1	B	2	S	N	N	S		S								
1	C	1	S	N	N	S		N	N	S						

Anexo Y: Hoja de información de engranajes piñón corona de chancador Sanland SH220.

HOJA DE INFORMACIÓN RCM		ACTIVO		SISTEMA N°		FACILITADOR		HOJA			
		COMPONENTE		SUB-SISTEMA N°		FECHA		DE			
		Chancador Sanland SH220		2		Claudio Basáez		1			
		Engranajes Piñón-Corona		2.2		03-07-2025		1			
FUNCIÓN			FALLA FUNCIONAL			MODO DE FALLA			EFECTO DE LA FALLA		
1	Transmitir el torque desde el motor eléctrico al manguito excéntrico, asegurando el movimiento oscilante del manto para triturar el mineral	A	Transmisión ineficiente del torque al eje.	1	Desgaste excesivo en los dientes de los engranajes.	Pérdida de eficiencia en la trituración y reducción en la producción diaria.					
				2	Aumento de juego axial en el contra eje.	Desgaste irregular en piñón y corona, vibraciones fuera de rango y deformación en la corona.					
				3	Fracturas en los dientes por sobrecarga.	Paradas no programadas y riesgo de falla catastrófica.					
		B	Generación de vibraciones anormales durante la operación.	1	Desgaste desigual de los dientes.	Funcionamiento inestable y reducción de la eficiencia del sistema.					
				1	Aplastamiento de los dientes.	Alteración del perfil y pérdida de capacidad de transmisión.					

Anexo Z: Hoja de decisión de engranaje piñón corona de chancador Sanland SH220.

HOJA DE DECISIÓN RCM	ACTIVO		SISTEMA N°			FACILITADOR			HOJA
	COMPONENTE		SUB-SISTEMA N°			FECHA			DE
	Engranaje piñón corona		2.2			03-07-2025			1
Referencia de Información	Evaluación de las consecuencias	H1	H2	H3	Tareas "a falta de"	Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por	
		S1	S2	S3					
		O1	O2	O3					
		N1	N2	N3					

F	FF	MF	H	S	E	O				H4	H5	S4			
1	A	1	N				S						Monitoreo de presión de trabajo y análisis de lubricante.	Diario/15 días	Mantenimiento/pla nificación
1	A	2	N				S						Controlar el juego axial del eje del contra eje, realizando metrología.	6 meses	Mantenimiento
1	A	3	S	N	N	S	S						Controlar el ingreso de inchancables a la línea.	Diario	Operaciones
1	B	1	S	N	N	N	S						Controlar el juego axial del eje del contra eje, realizando metrología.	Cada cambio de revestimientos	Mantenimiento
1	C	1	S	N	N	N	S						Control de backlash adecuado.	Cada cambio de revestimientos	Mantenimiento

Anexo AA: Hoja de información eje principal de chancador Sanland SH220.

HOJA DE INFORMACIÓN RCM		ACTIVO		SISTEMA N°		FACILITADOR		HOJA
		Chancador Sanland SH220		2		Claudio Basáez		1
		COMPONENTE		SUB-SISTEMA N°		FECHA		DE
		Eje principal		2.2		08-04-2025		1
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFECTO DE LA FALLA		
1	Transmitir el movimiento rotacional y soportar el manto para aplicar la fuerza de compresión necesaria en la trituración del mineral	A	No transmite adecuadamente el movimiento rotacional al manto.	1	Desgaste excesivo en las superficies de contacto.	Pérdida de eficiencia en la trituración y reducción en la producción diaria.		
				2	Deformación del eje debido a sobrecarga o fatiga.	Vibraciones anormales y posibles daños en componentes adyacentes.		
		B	Pierde la capacidad de soportar el manto de manera estable.	1	Fisuras o fracturas en el eje principal.	Paradas no programadas y riesgo de falla catastrófica.		

			2	Desalineación del eje.	Desgaste irregular del manto y cóncavo, afectando la calidad del producto final.
--	--	--	---	------------------------	--

Anexo BB: Hoja de decisión de eje principal de chancador Sanland SH220.

HOJA DE DECISIÓN RCM	ACTIVO							SISTEMA N°				FACILITADOR				HOJA
	Chancador Sanland SH220							2				Claudio Basáez				1
	COMPONENTE							SUB-SISTEMA N°				FECHA				DE
	Eje principal							2.2				21-04-2025				1
Referencia de Información	Evaluación de las consecuencias							H1	H2	H3	Tareas "a falta de"	Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por		
								S1	S2	S3						
	F	FF	MF	H	S	E	O	O1	O2	O3						
								N1	N2	N3						
											H4	H5	S4			
1	A	1	N					S						Monitoreo de presión de trabajo en unidad hidráulica.	Diario	Mantenimiento
1	A	2	N					S						Realizar metrología al eje principal cuidando que no esté deformado.	1 año	Mantenimiento
1	B	1	N					S						Análisis de aceite al lubricante del equipo.	15 días	Planificación
1	B	2	N					S						Metrología al eje y revisar bujes con objetivo de prevenir una desalineación del eje.	1 año	Mantenimiento

Anexo CC: Hoja de información de cilindros hidráulicos de fijación de chancador Sanland SH220.

HOJA DE INFORMACIÓN RCM	ACTIVO							SISTEMA N°				FACILITADOR				HOJA
	Chancador Sanland SH220							2				Claudio Basáez				1
	COMPONENTE							SUB-SISTEMA N°				FECHA				DE

		Cilindros Hidráulicos de Fijación		2.3		26-06-2025	1
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFECTO DE LA FALLA	
1	Aplicar presión hidráulica para fijar y bloquear el anillo superior (portacóncavo) del chancador en su posición ajustada, manteniéndolo estable durante la operación	A	No aplica presión suficiente para fijar el portacóncavo.	1	Fugas internas.	El anillo superior queda suelto perdiendo la posición del ajuste.	
				2	Fuga externa.	El anillo superior queda suelto perdiendo la posición del ajuste.	
				3	Daño en válvulas direccionales.	No se activa el cilindro o lo hace incorrectamente.	
		B	No mantiene la fijación durante operación.	1	Pérdida de presión por falla en acumuladores.	El portacóncavo vibra o se desalinea afectando la trituración.	
				2	Desgaste excesivo de sellos.	Pérdida progresiva de la capacidad de retención de presión.	
		C	No responde ante la orden de liberación (extensión).	1	Fallo en válvula solenoide.	El portacóncavo queda bloqueado y no permite ajuste.	

Anexo DD: Hoja de decisión de cilindros de fijación de chancador Sanland SH220.

HOJA DE DECISIÓN RCM				ACTIVO				SISTEMA N°				FACILITADOR				HOJA			
				Chancador Sanland SH220				2				Claudio Basáez				1			
				COMPONENTE Cilindros de fijación				SUB-SISTEMA N° 2.3				FECHA 26-06-2025				DE 1			
Referencia de Información				Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas		Frecuencia Inicial		A realizar por	
								S1	S2	S3									
								O1	O2	O3									
								N1	N2	N3									
F	FF	MF	H	S	E	O				H4	H5	S4							
1	A	1	N					N	N	S					Sustituir el cilindro por uno stand by que está en condiciones de	1 año	Mantenimiento		

1	A	2	S	N	S		N	N	S			operación ideales con objetivo de hacerle mantenimiento.		
1	A	3	S	N	N	S	N	N	S			Sustituir válvula por una stand by en condiciones ideales.	2 años	Mantenimiento
1	B	1	N				S					Medir presiones a los acumuladores (1500 psi).	Cada cambio de revestimiento	Mantenimiento
1	B	2	N				N	N	S			Sustituir el cilindro por uno stand by que está en condiciones de operación ideales con objetivo de hacerle mantenimiento.	1 año	Mantenimiento
1	C	1	S	N	N	S	N	N	S			Sustituir válvula por una stand by en condiciones ideales.	2 años	Mantenimiento

Anexo EE: Hoja de información de acumuladores de chancador Sanland SH220.

HOJA DE INFORMACIÓN RCM		ACTIVO	SISTEMA N°	FACILITADOR	HOJA
		Chancador Sanland SH220	2	Claudio Basáez	1
		COMPONENTE	SUB-SISTEMA N°	FECHA	DE
		Acumuladores	2.3	17-05-2025	1
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA	
1	Almacenar energía hidráulica para absorber picos de presión y liberar	A No absorbe adecuadamente los picos de presión.	1 Diafragma roto.	Incapacidad para amortiguar sobrepresiones, riesgo de daño en componentes del sistema.	

	fluido rápidamente durante eventos de sobrecarga, protegiendo la estructura de la trituradora y manteniendo la continuidad operativa			2	Precarga de gas incorrecta (demasiado alta o baja).	Respuesta inadecuada ante cambios de presión, afectando la protección del sistema.
				3	Fugas internas o externas de gas.	Pérdida de presión, disminución de la capacidad de absorción de sobrecargas.
		B	Descarga incontrolada del fluido almacenado.	1	Válvula de retención defectuosa.	Liberación súbita de presión, potencial daño a componentes y riesgo para la seguridad.
		C	Respuesta lenta o ineficaz ante eventos de sobrecarga.	1	Contaminación del fluido hidráulico.	Obstrucción de válvulas y componentes, disminuyendo la eficiencia del acumulador.

Anexo FF: Hoja de decisión de acumuladores de chancador Sanland SH220.

HOJA DE DECISIÓN RCM				ACTIVO				SISTEMA N°				FACILITADOR				HOJA		
				Chancador Sanland SH220				2				Claudio Basáez				1		
				COMPONENTE				SUB-SISTEMA N°				FECHA				DE		
				Acumuladores				2.3				11-06-2025				1		
Referencia de Información				Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por		
								S1	S2	S3								
								O1	O2	O3								
								N1	N2	N3								
F	FF	MF	H	S	E	O				H4	H5	S4						
1	A	1	N					N	N	S				Cambiar acumulador que presente problemas por uno stand by en correctas condiciones para la operación.	1 año	Mantenimiento		
1	A	2	N					N	S					Realizar pruebas a acumuladores que estén operando fuera de parámetros, vaciar gas y recargar de manera correcta.	1 mes	Mantenimiento		

1	A	3	N				S						Inspección de acumulador cuidando que no existan fugas ni daños en la carcasa.	6 meses	Mantenimiento
1	B	1	S	N	S		S						Revisión de la válvula de retención de los acumuladores cuidando que no existan fugas de fluido hidráulico.	Semanal	Mantenimiento
1	C	1	N				N	S					Vaciar fluido hidráulico de acumulador y sustituir por fluido nuevo.	3 meses	Mantenimiento

Anexo GG: Hoja de información de filtros de aceite de chancador secundario Sanland SH220.

HOJA DE INFORMACIÓN RCM		ACTIVO Chancador Sanland SH220		SISTEMA N° 2		FACILITADOR Claudio Basáez		HOJA 1
		COMPONENTE Filtros de aceite		SUB-SISTEMA N° 2.4		FECHA 11-06-2025		DE 1
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFECTO DE LA FALLA		
1	Eliminar contaminantes sólidos y partículas del aceite lubricante para mantener la limpieza del sistema, proteger componentes críticos como cojinetes y engranajes	A	No elimina eficazmente los contaminantes del aceite.	1	Elemento filtrante saturado o colapsado.	Circulación de aceite contaminado, aumentando el desgaste de componentes críticos.		
				2	Daño físico en el medio filtrante.	Paso de partículas contaminantes al sistema, afectando la lubricación.		
		B	Restricción al flujo de aceite debido a obstrucción del filtro.	1	Acumulación excesiva de partículas en el filtro.	Disminución del caudal de aceite, provocando lubricación insuficiente y sobrecalentamiento.		

		C	Contaminación cruzada del aceite lubricante.	1	Fugas internas en el filtro.	Mezcla de aceite limpio con contaminantes, reduciendo la calidad del lubricante.
				2	Presencia de agua en el aceite.	Formación de emulsiones, afectando la capacidad de lubricación y promoviendo la corrosión.

Anexo HH: Hoja de decisión de filtros de aceite de chancador Sanland SH220.

HOJA DE DECISIÓN RCM				ACTIVO				SISTEMA N°				FACILITADOR				HOJA	
				Chancador Sanland SH220				2				Claudio Basáez				1	
				COMPONENTE				SUB-SISTEMA N°				FECHA				DE	
				Filtros de aceite				2.3				11-04-2025				1	
Referencia de Información				Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por	
								S1	S2	S3							
								O1	O2	O3							
								N1	N2	N3							
F	FF	MF		H	S	E	O				H4	H5	S4				
1	A	1		N				N	N	S				Sustituir filtro si el elemento filtrante está saturado o colapsado.	6 meses	Mantenimiento	
1	A	2		N				N	N	S				Sustitución de filtro en caso que presente daños físicos en el medio filtrante.	6 meses	Mantenimiento	
1	B	1		S	N	N	S	N	N	S				Sustituir el filtro en caso de presentar acumulación excesiva de partículas.	6 meses	Mantenimiento	
1	C	1		N				S						Inspección a los filtros con intención de identificar fugas internas o daños en componente filtrante.	1 semana	Mantenimiento	

1	C	2	N					S						Inspección visual a fluido lubricante en estanque identificando variaciones de color y viscosidad por presencia de agua.	Diaria	Operaciones
---	---	---	---	--	--	--	--	---	--	--	--	--	--	--	--------	-------------

Anexo II: Hoja de información de anillo de ajuste de chancador Sanland SH220.

HOJA DE INFORMACIÓN RCM		ACTIVO		SISTEMA N°		FACILITADOR		HOJA	
		Chancador Sanland SH220		2		Claudio Basáez		1	
		COMPONENTE		SUB-SISTEMA N°		FECHA		DE	
		Anillo de ajuste		2.3		10-06-2025		1	
FUNCIÓN			FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFECTO DE LA FALLA		
1	Permitir el ajuste preciso de la separación entre el manto y el cóncavo mediante su rotación, controlando así la granulometría del mineral		A	No permite el ajuste de la separación entre manto y cóncavo.	1	Acumulación de material o residuos en las roscas.	Bloqueo del movimiento del anillo, impidiendo ajustes necesarios.		
					2	Daño en las roscas del anillo.	Pérdida de precisión en el ajuste, afectando la granulometría del producto.		
			B	Movimiento irregular o atascamiento durante el ajuste.	1	Falta de lubricación en las superficies de contacto.	Fricción excesiva, desgaste acelerado y posible daño en componentes asociados.		
					2	Deformación del anillo.	Desalineación del sistema de ajuste, afectando la eficiencia operativa.		
			C	Pérdida de la posición de ajuste durante la operación.	1	Fallo en el sistema de bloqueo del anillo.	Movimiento no deseado del anillo durante la operación, comprometiendo la estabilidad del sistema.		

Anexo JJ: Hoja de decisión de anillo de ajuste de chancador Sanland SH220.

HOJA DE DECISIÓN RCM	ACTIVO	SISTEMA N°	FACILITADOR	HOJA
	Chancador Sanland SH220	2	Claudio Basáez	1

			COMPONENTE				SUB-SISTEMA N°								FECHA				DE
			Anillo de ajuste				2.3								10-06-2025				1
Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"				Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por			
							S1	S2	S3										
F	FF	MF	H	S	E	O	O1	O2	O3	N1	N2	N3							
1	A	1	S	N	N	S	S							Inspección de anillo de ajuste cuidando que no exista acumulación de material o residuos que no permitan un correcto ajuste.	Semanal	Mantenimiento			
1	A	2	S	N	N	S	S							Inspección de anillo de ajuste con objetivo de identificar posibles daños en las roscas.	Semanal	Mantenimiento			
1	B	1	S	N	N	S	S							Lubricar correctamente superficies de contacto de anillo de ajuste.	Cada cambio de revestimiento	Mantenimiento			
1	B	2	S	N	N	S	S							Inspección de anillo de ajuste revisando posibles deformaciones en este que no permitan un correcto ajuste.	Semanal	Mantenimiento			
1	C	1	S	N	N	S	S							Revisión de engranaje de motor hidráulico de ajuste chequeando que sea capaz de bloquear el ajuste.	Semanal	Mantenimiento			

Anexo KK: Hoja de información de manto de chancador Trio TC - 66.

ACTIVO	SISTEMA N°	FACILITADOR	HOJA
--------	------------	-------------	------

HOJA DE INFORMACIÓN RCM		Chancador Trio TC - 66			3		Claudio Basáez		1
		COMPONENTE			SUB-SISTEMA N°		FECHA		DE
		Manto			3.1		10-06-2025		1
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL			MODO DE FALLA		EFECTO DE LA FALLA		
1	Triturar material mineral mediante compresión contra el cóncavo, reduciendo su tamaño para alcanzar una producción diaria de 2.500 toneladas.	A	No logra generar la compresión adecuada del mineral.		1	Desgaste excesivo de la superficie de trituración.	Aumento del tamaño de partícula, reducción de eficiencia y recirculación elevada.		
					2	Aplastamiento desigual por deformación del manto.	Sobrecarga del sistema y vibraciones anormales.		
		B	Pierde la capacidad de mantenerse firmemente fijado a la cabeza del cono.		1	Aflojamiento del sistema de fijación.	Golpeteos internos, daño estructural y paradas no programadas.		
					2	Daño en los pernos de sujeción.	Desalineación del manto y riesgos de daño al eje principal.		
		C	No entrega la vida útil esperada antes de requerir reemplazo.		1	Fractura prematura del manto.	Paro imprevisto del equipo y necesidad de cambio urgente.		
					2	Defectos de fabricación (porosidad o grietas internas).	Fallo súbito con consecuencias operacionales y de seguridad.		

Anexo LL: Hoja de decisión de manto de chancador Trio TC - 66.

HOJA DE DECISIÓN RCM	ACTIVO			SISTEMA N°			FACILITADOR			HOJA
	Chancador Trio TC - 66			3			Claudio Basáez			1
	COMPONENTE			SUB-SISTEMA N°			FECHA			DE
	Manto			3.1			10-06-2025			1
Referencia de Información	Evaluación de las consecuencias	H1	H2	H3	Tareas "a falta de"	Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por		
		S1	S2	S3						
		O1	O2	O3						
		N1	N2	N3						

F	FF	MF	H	S	E	O				H4	H5	S4			
1	A	1	S	N	N	S	S						Inspección y ajuste de setting	12 horas	Mantenimiento y operaciones
1	A	1	S	N	N	S	S						Inspección y ajuste de setting	12 horas	Mantenimiento y operaciones
1	B	1	S	N	N	S	N	S					Apretar perno de sujeción si se suelta el ajuste.	A condición	Mantenimiento
1	B	2	S	N	N	S	N	N	S				Cambiar pernos si presentan daños o desgastes.	A condición	Mantenimiento
1	C	1	S	N	N	S	N	N	S				Cambiar manto al presentar una fractura.	A condición	Mantenimiento
1	C	2	N				S						Inspección visual al recepcionar cuidando que cumpla con la calidad deseada.	A pedido	Mantenimiento y planificación

Anexo MM: Hoja de información de cóncavo de chancador Trio TC - 66.

HOJA DE INFORMACIÓN RCM		ACTIVO		SISTEMA N°		FACILITADOR		HOJA
		Chancador Trio TC - 66		3		Claudio Basáez		1
		COMPONENTE		SUB-SISTEMA N°		FECHA		DE
		Cóncavo		3.1		13-04-2025		1
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFECTO DE LA FALLA		
1	Proporcionar una superficie fija contra la cual se comprime el mineral, permitiendo su reducción de tamaño hasta lograr una producción diaria continua de 2.500 toneladas.	A	No proporciona una superficie de trituración uniforme.	1	Desgaste irregular o desalineado del revestimiento.	Reducción en eficiencia, aumento de la recirculación de mineral.		
				2	Pérdida de forma geométrica del revestimiento.	Presión dispareja, riesgo de daño al manto y mayor consumo energético.		
		B	No se mantiene firmemente adherido a la carcasa del chancador.	1	Aflojamiento de pernos de sujeción.	Golpeteos internos, daño estructural y riesgo de deslizamiento del componente.		

				2	Daño o deformación en la superficie de asiento.	Desalineación del manto y generación de vibraciones.
				1	Formación de grietas o fisuras.	Pérdida de material, contaminación del producto y riesgo de falla catastrófica.
		C	Pierde integridad estructural antes del fin de su vida útil.	2	Corrosión severa en zonas de contacto.	Daño progresivo en la carcasa y reducción de la seguridad operativa.

Anexo NN: Hoja de decisión de cóncavo de chancador Trio TC - 66.

HOJA DE DECISIÓN RCM				ACTIVO				SISTEMA N°				FACILITADOR				HOJA
				Chancador Trio TC - 66				3				Claudio Basáez				1
				COMPONENTE				SUB-SISTEMA N°				FECHA				DE
				Cóncono				3.1				13-04-2025				1
Referencia de Información				Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"		Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por	
								S1	S2	S3						
F	FF	MF		H	S	E	O	O1	O2	O3						
								N1	N2	N3	H4	H5	S4			
1	A	1		S	N	N	S	S					Inspección y ajuste de setting.	12 horas	Mantenimiento y operaciones	
1	A	2		S	N	N	S	S					Inspección y ajuste de setting.	12 horas	Mantenimiento y operaciones	
1	B	1		S	N	N	S	N	S				Apretar perno de sujeción si se suelta el ajuste.	A condición	Mantenimiento	
1	B	2		S	N	N	S	N	N	S			Cambiar pernos cuando estén dañado.	A condición	Mantenimiento	
1	C	1		S	N	N	S	N	N	S			Cambiar cóncavo al presentar una fractura.	A condición	Mantenimiento	
1	C	2		N				S					Inspección visual al recepcionar cóncavo cuidando que cumpla con la calidad deseada.	A pedido	Mantenimiento/planificación	

Anexo OO: Hoja de información de cabezal de trituración de chancador Trio TC - 66.

HOJA DE INFORMACIÓN RCM		ACTIVO		SISTEMA N°		FACILITADOR		HOJA
		COMPONENTE		SUB-SISTEMA N°		FECHA		DE
		Chancador Trio TC - 66		3		Claudio Basáez		1
		Cabezal de Trituración		3.1		13-04-2025		1
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFECTO DE LA FALLA		
1	Aplicar fuerza mecánica directa al mineral al moverse excéntricamente para reducir su tamaño, permitiendo una producción diaria de 2.500 toneladas y una granulometría de 28 a 32 mm	A	No mantiene la trituración adecuada perdiendo la granulometría de descarga esperada.	1	Desalineación del cabezal.	Reducción de eficiencia, desgaste prematuro del manto y cóncavo, aumento de vibraciones.		
				2	Holgura excesiva en el conjunto giratorio.	Vibraciones, impacto mecánico y riesgo de daño en el eje principal.		
		B	No mantiene la presión de trituración requerida.	1	Desgaste en el socket liner.	Desalineamiento en el eje y desgaste en el socket, head y mainshaft.		
				2	Deformación estructural por sobrecarga o fatiga.	Imposibilidad de mantener la fuerza de compresión, necesidad de paro inmediato.		
		C	Pierde estabilidad durante la operación.	1	Falla de los dumpers.	Caída o desalineación del cabezal, posible paro inmediato del sistema.		

Anexo PP: Hoja de decisión de cabezal de trituración de chancador Trio TC - 66.

HOJA DE DECISIÓN RCM				ACTIVO		SISTEMA N°				FACILITADOR				HOJA
				COMPONENTE		SUB-SISTEMA N°				FECHA				DE
				Chancador Trio TC - 66		3				Claudio Basáez				1
				Cabezal de trituración		3.1				13-04-2025				1
Referencia de Información				Evaluación de las consecuencias				Tareas "a falta de"				Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por
F	FF	MF		H	S	E	O	H1	H2	H3		Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por
								S1	S2	S3				
								O1	O2	O3				
								N1	N2	N3				
												H4	H5	S4

1	A	1	N				S						Análisis de vibraciones y termografía.	Mensual	Planificación
1	A	1	S	N	S		S						Análisis de vibraciones y revisión de temperatura.	Mensual y diario	Planificación y operaciones
1	B	1	N				N	N	N	S			Chequear que la presión de trabajo se alcance y el lubricante este en buen estado	Diaria (chequeo de presión), 2000 horas (lubricante)	Mantenimiento
1	B	2	S	N	N	S	S						Inspección visual y metrología.	Cada cambio de revestimiento	Mantenimiento
1	C	1	S	N	N	S	N	N	S				Sustitución de dumper.	6 meses	Mantenimiento

Anexo QQ: Hoja de información de eje principal de chancador Trio Tc - 66.

HOJA DE INFORMACIÓN RCM		ACTIVO		SISTEMA N°		FACILITADOR		HOJA
		Chancador Trio TC - 66		3		Claudio Basáez		1
		COMPONENTE		SUB-SISTEMA N°		FECHA		DE
		Eje principal		3.2		13-04-2025		1
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFECTO DE LA FALLA		
1	Transmitir el movimiento rotacional y soportar el manto para aplicar la fuerza de compresión necesaria en la trituración del mineral	A	No transmite adecuadamente el movimiento rotacional al manto.	1	Desgaste excesivo en las superficies de contacto.	Pérdida de eficiencia en la trituración y reducción en la producción diaria.		
				2	Deformación del eje debido a sobrecarga o fatiga.	Vibraciones anormales y posibles daños en componentes adyacentes.		
		B	Pierde la capacidad de soportar el manto de manera estable.	1	Fisuras o fracturas en el eje principal.	Paradas no programadas y riesgo de falla catastrófica.		
				2	Desalineación del eje.	Desgaste irregular del manto y cóncavo, afectando la calidad del producto final.		

Anexo RR: Hoja de decisión de eje principal de chancador Trio TC - 66.

HOJA DE DECISIÓN RCM	ACTIVO							SISTEMA N°				FACILITADOR				HOJA
	Chancador Trio TC - 66							3				Claudio Basáez				1
	COMPONENTE							SUB-SISTEMA N°				FECHA				DE
	Eje principal							3.2				13-04-2025				1
Referencia de Información	Evaluación de las consecuencias							H1	H2	H3	Tareas "a falta de"	Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por		
								S1	S2	S3						
	F	FF	MF	H	S	E	O	O1	O2	O3						
								N1	N2	N3						
											H4	H5	S4			
1	A	1	N					S						Monitoreo de presión de trabajo en unidad hidráulica.	Diario	Mantenimiento
1	A	2	N					S						Realizar metrología al eje principal cuidando que no esté deformado.	1 año	Mantenimiento
1	B	1	N					S						Análisis de aceite al lubricante del equipo.	15 días	Planificación
1	B	2	N					S						Metrología al eje y revisar bujes con objetivo de prevenir una desalineación del eje.	1 año	Mantenimiento

Anexo SS: Hoja de información de excéntrica de chancador Trio TC - 66.

HOJA DE INFORMACIÓN RCM	ACTIVO							SISTEMA N°				FACILITADOR				HOJA
	Chancador Trio TC - 66							3				Claudio Basáez				1
	COMPONENTE							SUB-SISTEMA N°				FECHA				DE
	Excéntrica							3.2				13-04-2025				1
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL							MODO DE FALLA				EFECTO DE LA FALLA				

1	Transmitir el movimiento rotacional en el eje principal para generar el movimiento oscilante del manto, permitiendo la trituración eficiente del mineral	A	No transmite adecuadamente el movimiento rotacional hacia la cabeza en el eje principal.	1	Desgaste excesivo en las superficies de contacto.	Pérdida de eficiencia en la trituración y reducción en la producción diaria.
				2	Falta de lubricación adecuada en las superficies de contacto.	Calentamiento excesivo y posible agarrotamiento del sistema de transmisión.
				3	Deformación de la excéntrica debido a sobrecarga o fatiga.	Vibraciones anormales y posibles daños en componentes adyacentes.
		B	Pierde la capacidad de mantener la alineación adecuada con el eje principal.	1	Holgura excesiva entre la excéntrica y el eje.	Desalineación del sistema y aumento del desgaste en el manto y cóncavo.
				2	Fisuras o fracturas en la excéntrica.	Paradas no programadas y riesgo de falla catastrófica.

Anexo TT: Hoja de decisión de excéntrica de chancador Trio TC - 66.

HOJA DE DECISIÓN RCM				ACTIVO				SISTEMA N°				FACILITADOR				HOJA
				Chancador Trio TC - 66				3				Claudio Basáez				1
				COMPONENTE				SUB-SISTEMA N°				FECHA				DE
				Excéntrica				3.2				13-04-2025				1
Referencia de Información				Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"	Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por		
								S1	S2	S3						
F	FF	MF		H	S	E	O	O1	O2	O3						
								N1	N2	N3	H4	H5	S4			
1	A	1		N				S						Metrología de componente en superficies de contacto.	1 año	Mantenimiento
1	A	2		N				S						Cambio de aceite, monitoreo de parámetros de bomba de lubricación.	1800 horas/Diario	Planificación/Mantenimiento

1	A	3	N				S						Revisar torques de pernos, ajustándolos al adecuado.	Cada cambio de revestimientos	Mantenimiento
1	B	1	N				S						Cuidar que se instala con las tolerancias correctas y realizar metrología del componente.	Cada 1 año	Mantenimiento
1	B	2	N				N	N	N	N	S		Ensayo no destructivo a excéntrica.	Cada cambio de revestimientos	Mantenimiento

Anexo UU: Hoja de información de engranajes piñón corona de chancador Trio TC - 66.

HOJA DE INFORMACIÓN RCM		ACTIVO		SISTEMA N°		FACILITADOR		HOJA
		Chancador Trio TC - 66		3		Claudio Basáez		1
		COMPONENTE		SUB-SISTEMA N°		FECHA		DE
		Engranajes Piñón-Corona		3.2		13-04-2025		1
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFECTO DE LA FALLA		
1	Transmitir el torque desde el motor eléctrico al manguito excéntrico, asegurando el movimiento oscilante del manto para triturar el mineral	A	Transmisión ineficiente del torque al eje	1	Desgaste excesivo en los dientes de los engranajes	Pérdida de eficiencia en la trituración y reducción en la producción diaria		
				2	Aumento de juego axial en el contra eje	Desgaste irregular en piñón y corona, vibraciones fuera de rango y deformación en la corona.		
				3	Fracturas en los dientes por sobrecarga	Paradas no programadas y riesgo de falla catastrófica		
		B	Generación de vibraciones anormales durante la operación	1	Desgaste desigual de los dientes	Funcionamiento inestable y reducción de la eficiencia del sistema		
		C	Deformación plástica de los dientes bajo carga operativa	1	Aplastamiento de los dientes	Alteración del perfil y pérdida de capacidad de transmisión		

Anexo VV: Hoja de decisión de engranaje piñón corona de chancador Trio TC - 66.

HOJA DE DECISIÓN RCM			ACTIVO				SISTEMA N°				FACILITADOR				HOJA	
			Chancador Trio TC - 66				3				Claudio Basáez				1	
			COMPONENTE				SUB-SISTEMA N°				FECHA				DE	
			Engranaje piñón corona				3.2				08-07-2025				1	
Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"				Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por
							S1	S2	S3							
							O1	O2	O3							
							N1	N2	N3							
F	FF	MF	H	S	E	O				H4	H5	S4				
1	A	1	N				S						Monitoreo de presión de trabajo y análisis de lubricante.	Diario/15 días	Mantenimiento/planificación	
1	A	2	N				S						Controlar el juego axial del eje del contra eje, realizando metrología.	6 meses	Mantenimiento	
1	A	3	S	N	N	S	S						Controlar el ingreso de inchancables a la línea.	Diario	Operaciones	
1	B	1	S	N	N	N	S						Controlar el juego axial del eje del contra eje, realizando metrología.	Cada cambio de revestimiento	Mantenimiento	
1	C	1	S	N	N	N	S						Control de backlash adecuado.	Cada cambio de revestimiento	Mantenimiento	

Anexo WW: Hoja de información cilindros hidráulicos de traba de chancador Trio TC - 66.

HOJA DE INFORMACIÓN RCM	ACTIVO						SISTEMA N°				FACILITADOR				HOJA
	Chancador Trio TC - 66						3				Claudio Basáez				1
HOJA DE INFORMACIÓN RCM	COMPONENTE						SUB-SISTEMA N°				FECHA				DE
	Cilindros hidráulicos de traba						3.3				08-07-2025				1

FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFFECTO DE LA FALLA
1	Retraer el anillo superior del chancador (portacócavo) automáticamente ante presencia de sobrecarga o intrituras, permitiendo la apertura temporal de la cámara de trituración y evitando daños estructurales.	A	No retrae el portacócavo durante sobrecarga	1	Electro válvula bloqueada.	El cilindro no libera presión y el sistema queda bloqueado frente a intrituras.
				2	Fugas internas por desgastes de sellos.	El cilindro pierde presión y no alcanza la carrera completa.
				3	Daño en flexibles de línea hidráulica.	Caída súbita de presión y pérdida de capacidad de respuesta.
		B	Retracción lenta o incompleta	1	Acumulador defectuoso.	No se genera fuerza suficiente para retraer.
		C	No mantiene la presión de traba durante operación	1	Fuga externa.	Riesgo de apertura no controlada del portacócavo
		D	Se activa sin orden de control	1	Fallo en válvulas solenoides.	Liberación inesperada del cilindro.

Anexo XX: Hoja de decisión de cilindros hidráulicos de traba de chancador Trio TC - 66.

HOJA DE DECISIÓN RCM			ACTIVO				SISTEMA N°				FACILITADOR				HOJA				
			Chancador Trio TC - 66				3				Claudio Basáez				1				
			COMPONENTE				SUB-SISTEMA N°				FECHA				DE				
			Cilindros de traba hidráulicos				3.3				08-07-2025				1				
Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"				Tareas Propuestas		Frecuencia Inicial		A realizar por	
							S1	S2	S3										
							O1	O2	O3										
							N1	N2	N3										
F	FF	MF	H	S	E	O				H4	H5	S4							

1	A	1	N				S						Realizar mantenencias periódicas a electroválvulas cuidando que funcionen correctamente.	Cada cambio de revestimiento	Mantenimiento
1	A	2	S	N	S		N	N	S				Retiro de cilindro que presente fugas internas y sustitución por uno nuevo.	1 año	Mantenimiento
1	A	3	N				S						Inspeccionar flexibles, nipples, conectores en línea hidráulica con objetivo de prevenir daños en distintos puntos de las líneas hidráulicas.	Semanal	Mantenimiento
1	B	1	N				S						Medir presiones a los acumuladores (1500 psi).	Cada cambio de revestimiento	Mantenimiento
1	C	1	S	N	S		N	N	S				Cambiar cilindro de traba cuando presente una fuga externa.	1 año	Mantenimiento
1	D	1	S	N	N	S	N	N	S				Sustituir válvula por una stand by en correcto funcionamiento.	2 años	Mantenimiento

Anexo YY: Hoja de información de cilindros hidráulicos de fijación de chancador Trio TC - 66.

HOJA DE INFORMACIÓN RCM	ACTIVO	SISTEMA N°	FACILITADOR	HOJA
	Chancador Trio TC - 66	3	Claudio Basáez	1
	COMPONENTE	SUB-SISTEMA N°	FECHA	DE
	Cilindros Hidráulicos de Fijación	3.3	08-07-2025	1
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA	

1	Aplicar presión hidráulica para fijar y bloquear el anillo superior (portacóncavo) del chancador en su posición ajustada, manteniéndolo estable durante la operación	A	No aplica presión suficiente para fijar el portacóncavo.	1	Fugas internas.	El anillo superior queda suelto perdiendo la posición del ajuste.
				2	Fuga externa.	El anillo superior queda suelto perdiendo la posición del ajuste.
				3	Daño en válvulas direccionales.	No se activa el cilindro o lo hace incorrectamente.
		B	No mantiene la fijación durante operación.	1	Pérdida de presión por falla en acumuladores.	El portacóncavo vibra o se desalinea afectando la trituración.
				2	Desgaste excesivo de sellos.	Pérdida progresiva de la capacidad de retención de presión.
		C	No responde ante la orden de liberación (extensión).	1	Fallo en válvula solenoide.	El portacóncavo queda bloqueado y no permite ajuste.

Anexo ZZ: Hoja de decisión de cilindros de fijación de chancador Trio TC - 66.

HOJA DE DECISIÓN RCM				ACTIVO				SISTEMA N°				FACILITADOR				HOJA	
				Chancador Trio TC - 66				3				Claudio Basáez				1	
				COMPONENTE				SUB-SISTEMA N°				FECHA				DE	
				Cilindros de fijación				3.3				08-07-2025				1	
Referencia de Información				Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por	
								S1	S2	S3							
								O1	O2	O3							
								N1	N2	N3							
F	FF	MF	H	S	E	O				H4	H5	S4					
1	A	1	N				N	N	S				Sustituir el cilindro por uno stand by que está en condiciones de operación ideales con objetivo de hacerle mantenimiento.	1 año	Mantenimiento		
1	A	2	S	N	S		N	N	S								

1	A	3	S	N	N	S	N	N	S			Sustituir válvula por una stand by en condiciones ideales.	2 años	Mantenimiento
1	B	1	N				S					Medir presiones a los acumuladores (1500 psi).	Cada cambio de revestimiento	Mantenimiento
1	B	2	N				N	N	S			Sustituir el cilindro por uno stand by que está en condiciones de operación ideales con objetivo de hacerle mantenimiento.	1 año	Mantenimiento
1	C	1	S	N	N	S	N	N	S			Sustituir válvula por una stand by en condiciones ideales.	2 años	Mantenimiento

Anexo AAA: Hoja de información de acumuladores de chancador Trio TC - 66.

HOJA DE INFORMACIÓN RCM		ACTIVO		SISTEMA N°		FACILITADOR		HOJA
		COMPONENTE		SUB-SISTEMA N°		FECHA		DE
		Chancador Trio TC - 66		3		Claudio Basáez		1
		Acumuladores		3.3		08-07-2025		1
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFECTO DE LA FALLA		
1	Almacenar energía hidráulica para absorber picos de presión y liberar fluido rápidamente durante eventos de sobrecarga, protegiendo la estructura de la trituradora y manteniendo la continuidad operativa	A	No absorbe adecuadamente los picos de presión.	1	Diafragma roto.	Incapacidad para amortiguar sobrepresiones, riesgo de daño en componentes del sistema.		
				2	Precarga de gas incorrecta (demasiado alta o baja).	Respuesta inadecuada ante cambios de presión, afectando la protección del sistema.		
				3	Fugas internas o externas de gas.	Pérdida de presión, disminución de la capacidad de absorción de sobrecargas.		

		B	Descarga incontrolada del fluido almacenado.	1	Válvula de retención defectuosa.	Liberación súbita de presión, potencial daño a componentes y riesgo para la seguridad.
		C	Respuesta lenta o ineficaz ante eventos de sobrecarga.	1	Contaminación del fluido hidráulico.	Obstrucción de válvulas y componentes, disminuyendo la eficiencia del acumulador.

Anexo BBB: Hoja de decisión de acumuladores de chancador Trio TC - 66.

HOJA DE DECISIÓN RCM				ACTIVO				SISTEMA N°						FACILITADOR						HOJA	
				Chancador Trio TC - 66				3						Claudio Basáez						1	
				COMPONENTE				SUB-SISTEMA N°						FECHA						DE	
				Acumuladores				3.3						08-07-2025						1	
Referencia de Información				Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"				Tareas Propuestas			Frecuencia Inicial		A realizar por	
								S1	S2	S3											
								O1	O2	O3											
								N1	N2	N3											
								F	FF	MF											
1	A	1	N				N	N	S					Cambiar acumulador que presente problemas por uno stand by en correctas condiciones para la operación.	1 año	Mantenimiento					
1	A	2	N				N	S						Realizar pruebas a acumuladores que estén operando fuera de parámetros, vaciar gas y recargar de manera correcta.	1 mes	Mantenimiento					
1	A	3	N				S							Inspección de acumulador cuidando que no existan fugas ni daños en la carcasa.	6 meses	Mantenimiento					

1	B	1	S	N	S		S						Revisión de la válvula de retención de los acumuladores cuidando que no existan fugas de fluido hidráulico.	Semanal	Mantenimiento
1	C	1	N				N	S					Vaciar fluido hidráulico de acumulador y sustituir por fluido nuevo.	3 meses	Mantenimiento

Anexo CCC: Hoja de información de filtros de aceite de chancador Trio TC - 66.

HOJA DE INFORMACIÓN RCM		ACTIVO		SISTEMA N°		FACILITADOR		HOJA	
		Chancador Trio TC - 66		3		Claudio Basáez		1	
		COMPONENTE		SUB-SISTEMA N°		FECHA		DE	
		Filtros de aceite		3.4		08-07-2025		1	
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFFECTO DE LA FALLA			
1	Eliminar contaminantes sólidos y partículas del aceite lubricante para mantener la limpieza del sistema, proteger componentes críticos como cojinetes y engranajes	A	No elimina eficazmente los contaminantes del aceite	1	Elemento filtrante saturado o colapsado	Circulación de aceite contaminado, aumentando el desgaste de componentes críticos			
				2	Daño físico en el medio filtrante	Paso de partículas contaminantes al sistema, afectando la lubricación			
		B	Restricción al flujo de aceite debido a obstrucción del filtro	1	Acumulación excesiva de partículas en el filtro	Disminución del caudal de aceite, provocando lubricación insuficiente y sobrecalentamiento			
		C	Contaminación cruzada del aceite lubricante	1	Fugas internas en el filtro	Mezcla de aceite limpio con contaminantes, reduciendo la calidad del lubricante			
				2	Presencia de agua en el aceite	Formación de emulsiones, afectando la capacidad de lubricación y promoviendo la corrosión			

Anexo DDD: Hoja de decisión de filtros de aceite de chancador Trio TC - 66.

HOJA DE DECISIÓN RCM				ACTIVO				SISTEMA N°				FACILITADOR				HOJA
				Chancador Trio TC - 66				3				Claudio Basáez				1
				COMPONENTE				SUB-SISTEMA N°				FECHA				DE
				Filtros de lubricante				3.3				08-07-2025				1
Referencia de Información				Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por
								S1	S2	S3						
F	FF	MF	H	S	E	O				H4	H5	S4				
1	A	1	N				N	N	S				Sustituir filtro si el elemento filtrante está saturado o colapsado	6 meses	Mantenimiento	
1	A	2	N				N	N	S				Sustitución de filtro en caso que presente daños físicos en el medio filtrante.	6 meses	Mantenimiento	
1	B	1	S	N	N	S	N	N	S				Sustituir el filtro en caso de presentar acumulación excesiva de partículas.	6 meses	Mantenimiento	
1	C	1	N				S						Inspección a los filtros con intención de identificar fugas internas o daños en componente filtrante.	1 semana	Mantenimiento	
1	C	2	N				S						Inspección visual a fluido lubricante en estanque identificando variaciones de color y viscosidad por presencia de agua.	Diaria	Operaciones	

Anexo EEE: Hoja de información de anillo de ajuste de chancador Trio TC - 66.

HOJA DE INFORMACIÓN RCM		ACTIVO		SISTEMA N°		FACILITADOR		HOJA
		Chancador Trio TC - 66		3		Claudio Basáez		1
		COMPONENTE		SUB-SISTEMA N°		FECHA		DE
		Anillo de Ajuste		3.3		08-07-2025		1
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFECTO DE LA FALLA		
1	Permitir el ajuste preciso de la separación entre el manto y el cóncavo mediante su rotación, controlando así la granulometría del mineral	A	No permite el ajuste de la separación entre manto y cóncavo.	1	Acumulación de material o residuos en las roscas.	Bloqueo del movimiento del anillo, impidiendo ajustes necesarios.		
				2	Daño en las roscas del anillo.	Pérdida de precisión en el ajuste, afectando la granulometría del producto.		
		B	Movimiento irregular o atascamiento durante el ajuste.	1	Falta de lubricación en las superficies de contacto.	Fricción excesiva, desgaste acelerado y posible daño en componentes asociados.		
				2	Deformación del anillo.	Desalineación del sistema de ajuste, afectando la eficiencia operativa.		
		C	Pérdida de la posición de ajuste durante la operación.	1	Fallo en el sistema de bloqueo del anillo.	Movimiento no deseado del anillo durante la operación, comprometiendo la estabilidad del sistema.		

Anexo FFF: Hoja de decisión de anillo de ajuste de chancador Trio TC - 66.

HOJA DE DECISIÓN RCM				ACTIVO				SISTEMA N°				FACILITADOR				HOJA										
				Chancador Trio TC - 66				3				Claudio Basáez				1										
				COMPONENTE				SUB-SISTEMA N°				FECHA				DE										
				Anillo de ajuste				3.3				23-06-2025				1										
Referencia de Información				Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"				Tareas Propuestas				Frecuencia Inicial				A realizar por			
								S1	S2	S3																
								O1	O2	O3																
								N1	N2	N3																
F	FF	MF	H	S	E	O				H4	H5	S4														

1	A	1	S	N	N	S	S							Inspección de anillo de ajuste cuidando que no exista acumulación de material o residuos que no permitan un correcto ajuste.	Semanal	Mantenimiento
1	A	2	S	N	N	S	S							Inspección de anillo de ajuste con objetivo de identificar posibles daños en las roscas.	Semanal	Mantenimiento
1	B	1	S	N	N	S	S							Lubricar correctamente superficies de contacto de anillo de ajuste.	Cada cambio de revestimiento	Mantenimiento
1	B	2	S	N	N	S	S							Inspección de anillo de ajuste revisando posibles deformaciones en este que no permitan un correcto ajuste.	Semanal	Mantenimiento
1	C	1	S	N	N	S	S							Revisión de engranaje de motor hidráulico de ajuste chequeando que sea capaz de bloquear el ajuste.	Semanal	Mantenimiento