

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
**Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica
y Mecatrónica**



**“APLICACIÓN DE LA INGENIERÍA DE CONFIABILIDAD PARA OPTIMIZAR
EL MANTENIMIENTO ACTUAL DEL ÁREA DE CHANCADO PRIMARIO DE
UNA PLANTA CONCENTRADORA DE COBRE USANDO EL HISTÓRICO DE
FALLOS DE UNA EMPRESA MINERA EN EL SUR DEL PERÚ”**

Tesis presentada por el Bachiller:

Escalante Luna, Gonzalo Alonso

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Mecánico Electricista

Asesor:

Ing. Cáceres Núñez, Augusto Emilio

Arequipa – Perú

2020

Universidad Católica de Santa María

☎ (51 54) 382038 Fax:(51 54) 251213 ✉ ucsm@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe Apartado:1350

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA
ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA**

INFORME DICTAMINATORIO

VISTO

EL BORRADOR DE TESIS TITULADO:

**“APLICACIÓN DE LA INGENIERIA DE CONFIABILIDAD PARA OPTIMIZAR EL
MANTENIMIENTO ACTUAL DEL AREA DE CHANCADO PRIMARIO DE UNA PLANTA
CONCENTRADORA DE COBRE USANDO EL HISTORICO DE FALLOS DE UNA
EMPRESA MINERA EN EL SUR DEL PERU”**

Presentado por el Bachiller:

ESCALANTE LUNA GONZALO ALONSO

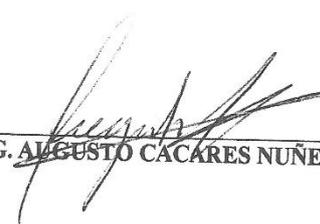
Nuestro **DICTAMEN** es:

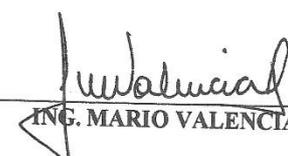
Pasa a Sustentación

OBSERVACIONES:

*Se podran realizar observaciones durante
la sustentación*

Arequipa, *22 de agosto* 2019


ING. AUGUSTO CACARES NUÑEZ

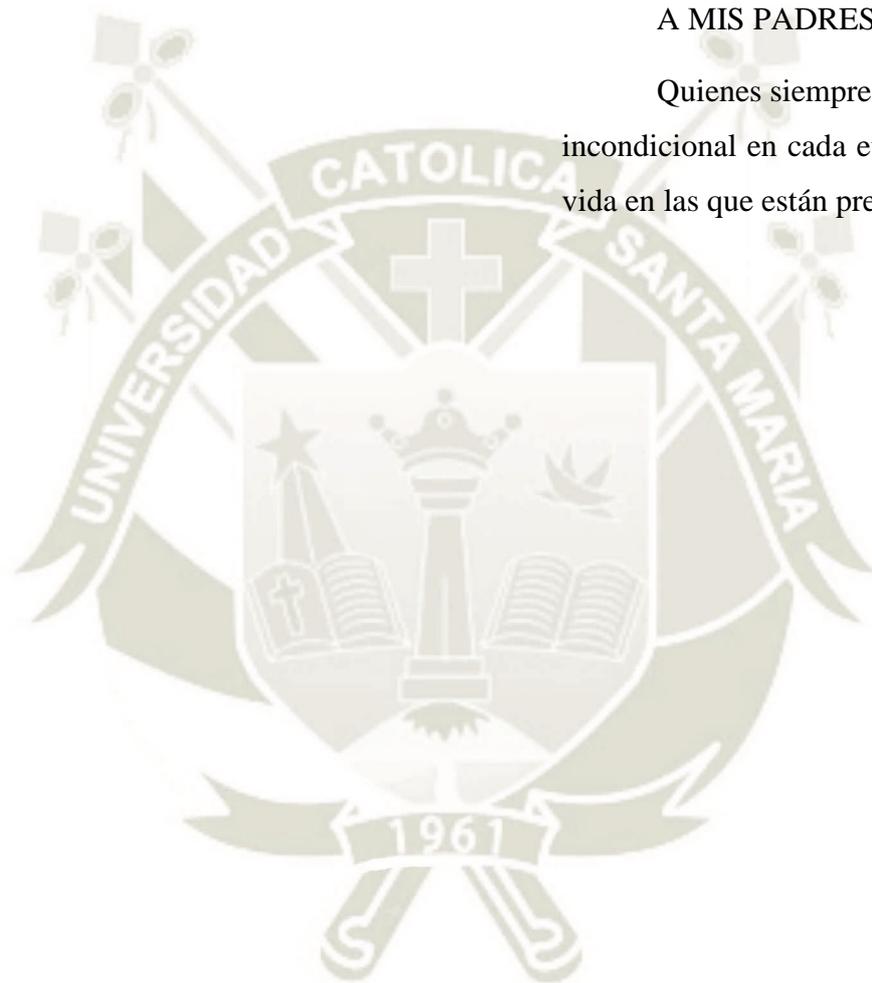

ING. MARIO VALENCIA SALAS

DEDICATORIA

Con todo mi respeto y amor:

A MIS PADRES Y HERMANOS

Quienes siempre me apoyan de manera incondicional en cada etapa importante de mi vida en las que están presentes.

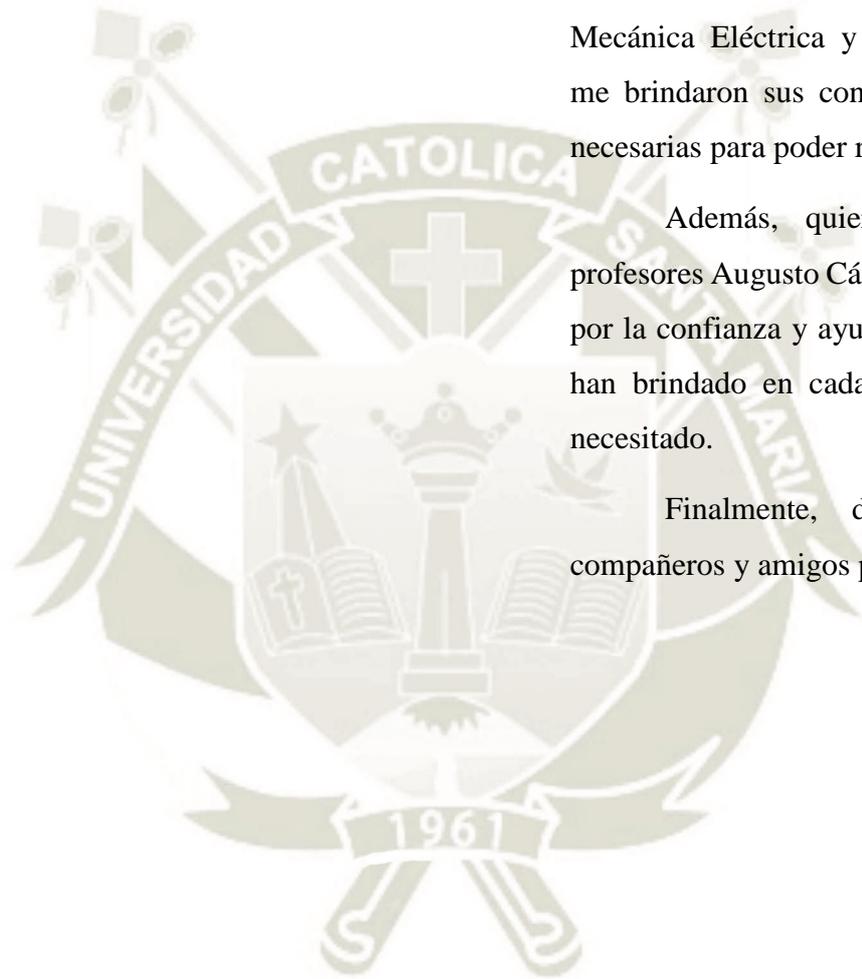


AGRADECIMIENTO

Quiero brindar mi más sincero agradecimiento a los profesores de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica, quienes me brindaron sus conocimientos y técnicas necesarias para poder realizar este trabajo.

Además, quiero agradecer a mis profesores Augusto Cáceres y Mario Valencia por la confianza y ayuda profesional que me han brindado en cada momento que lo he necesitado.

Finalmente, doy gracias a mis compañeros y amigos por su apoyo y cariño.



RESUMEN

El desarrollo del presente proyecto es aplicado al proceso de chancado primario de la planta concentradora de una empresa minera en el sur del Perú, en el cual se mostrará todo el proceso de la metodología basada en la ingeniería de confiabilidad que se realizó para establecer nuevas tareas proactivas para optimizar el mantenimiento actual.

El proceso de chancado primario de la planta concentradora de la minera ha sido diseñada para procesar 120.000 toneladas métricas diarias de mineral de cobre, pero debido a constantes paradas imprevistas por fallos funcionales de los equipos principales del área de chancado primario, que actualmente tiene una disponibilidad de 82.43% por año, se viene procesando menor cantidad de toneladas métricas por día y por lo tanto, mayores costos por pérdidas de producción que pueden ascender hasta alrededor de \$40,000.00 por hora aproximadamente si se genera una parada total del proceso de la planta concentradora. Por tal motivo, el objetivo del proyecto es determinar las fallas funcionales más críticas de los equipos principales del área de chancado primario de la minera para poder desarrollar una nueva alternativa y optimizar el mantenimiento. Para ello, se utilizó el histórico de fallos de los equipos del área de chancado primario, recolectada por personal de la misma empresa minera.

Mediante la aplicación de técnicas estadísticas al histórico de fallos se determinó la criticidad de las fallas de los equipos del proceso de chancado primario, obteniendo como resultado 07 fallos críticos de los equipos principales (los que más afectan la disponibilidad y generan mayores costos por pérdida de producción). Luego, utilizando las técnicas de la ingeniería de confiabilidad identificamos las causas, comportamiento y consecuencias de cada componente cuando falla, para finalmente, determinar las tareas proactivas para optimizar el mantenimiento, y así, poder elevar su disponibilidad hasta un 85% por año y, por ende, la productividad actual, esperando un ahorro por pérdida de costo de producción de más de \$600,000.00 por año generados por los fallos críticos identificados.

Palabras clave: Ingeniería de Confiabilidad, Optimizar el Mantenimiento, Histórico de Fallos y Chancado Primario.

ABSTRACT

The development of this project is applied to the primary crushing process of the concentrating plant of a mining company in southern Peru, which will show the entire process of the methodology based on reliability engineering that was carried out to establish new tasks proactive to optimize current maintenance.

The primary crushing process of the mining concentrator plant has been designed to process 120,000 metric tons per day of copper ore, but due to constant unexpected stops due to functional failures of the main equipment of the primary crushing process, which currently has availability of 82.43% per year, less metric tons are being processed per day and therefore, higher costs for production losses that can amount to about \$ 40,000.00 per hour approximately if a total shutdown of the concentrator plant process is generated. For this reason, the objective of the project is to determine the most critical functional failures of the main equipment of the primary crushing area of the mining company in order to develop a new alternative and optimize maintenance. For this, the fault history of the equipment of the primary crushing area, collected by the maintenance staff of the same mining company, was used.

Through the application of statistical techniques to the fault history, the criticality of the failures of the primary crushing process equipment was determined, resulting in 07 critical failures of the main equipment (which most affect availability and generate higher costs for loss of production). Then, using the techniques of reliability engineering, we identify the causes, behavior and consequences of each component when it fails, to finally determine the proactive tasks to optimize maintenance, and thus, be able to increase its availability up to 85% per year and, therefore, the current productivity, expecting a saving by loss of production cost of more than \$ 600,000.00 per year generated by the critical failures identified.

Keywords: Reliability Engineering, Optimize Maintenance, Failure History and Primary Crush.

INTRODUCCIÓN

En estos tiempos de desarrollo, el sector minero viene a ser uno de los principales aportadores para el desarrollo económico del país, es por ello que la importancia y el interés del gobierno a que empresas mineras reconocidas a nivel mundial vengan a invertir. Esto conlleva a que se implementen nuevas tecnologías, con nuevos y modernos equipos de última generación de marcas reconocidas a nivel mundial, las cuales necesitan gente más capacitada para poderlas operar y mantener. Es por ello que el conocimiento de la ingeniería de mantenimiento es vital para poder aumentar la confiabilidad de los equipos, reducir costos por pérdidas de producción y mantener la productividad deseada.

La ingeniería de mantenimiento o sólo el mantenimiento ha evolucionado y sufrido grandes cambios a lo largo de los años, desde sólo hacer correctivos para preservar la integridad de los activos, hasta convertirse en una estrategia importante para el negocio que optimiza la condición de los activos para garantizar la producción deseada y reducir costos por pérdidas.

Los nuevos conceptos como ingeniería de confiabilidad, que actualmente es muy utilizado en las empresas de la gran minería, han hecho que su mantenimiento evolucione notablemente y obtengan grandes beneficios, convirtiéndose en uno de los pilares en los que se basa la estrategia del negocio.

El no invertir para innovar y modernizar la gestión del mantenimiento puede poner en riesgo los objetivos del negocio, que pueden generar grandes pérdidas y hasta el cierre de la misma operación minera.

Por tal motivo, el objetivo que tiene este proyecto es diseñar una nueva metodología basada en la ingeniería de confiabilidad, que puede ser implementada fácilmente al mantenimiento actual de la empresa minera, que ayudará a disminuir las fallas existentes que más adolecen a los equipos, y así, obtener el máximo beneficio de los activos para incrementar la producción.

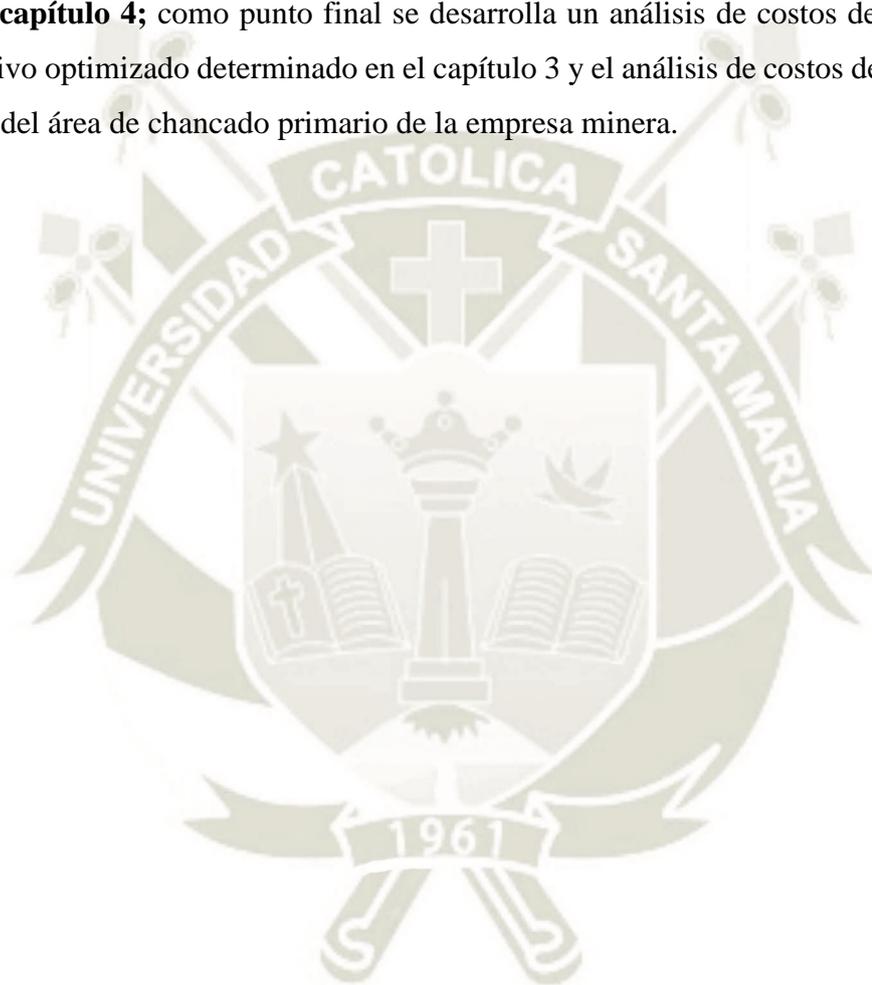
Los beneficios de esta nueva tecnología se verán reflejados en el Área de Mantenimiento de la Gerencia de Operaciones de Planta Concentradora, al utilizar las técnicas modernas de ingeniería de confiabilidad en el proceso de Chancado Primario. Para ello el trabajo está estructurado de la siguiente manera:

El capítulo I; muestra los antecedentes generales; el planteamiento del problema de empresa minera, los objetivos, justificación y limitaciones del presente trabajo.

El capítulo 2; se compone de todo el marco teórico como, la descripción de las metodologías y herramientas a utilizar para este trabajo y la descripción del área de chancado primario, como la filosofía de operación, el flujo de proceso y los equipos principales.

En el capítulo 3; se desarrolla la metodología de la ingeniería de confiabilidad y se muestran los resultados para determinar las tareas proactivas para optimizar el mantenimiento del área de chancado primario.

En el capítulo 4; como punto final se desarrolla un análisis de costos del mantenimiento proactivo optimizado determinado en el capítulo 3 y el análisis de costos del mantenimiento actual del área de chancado primario de la empresa minera.



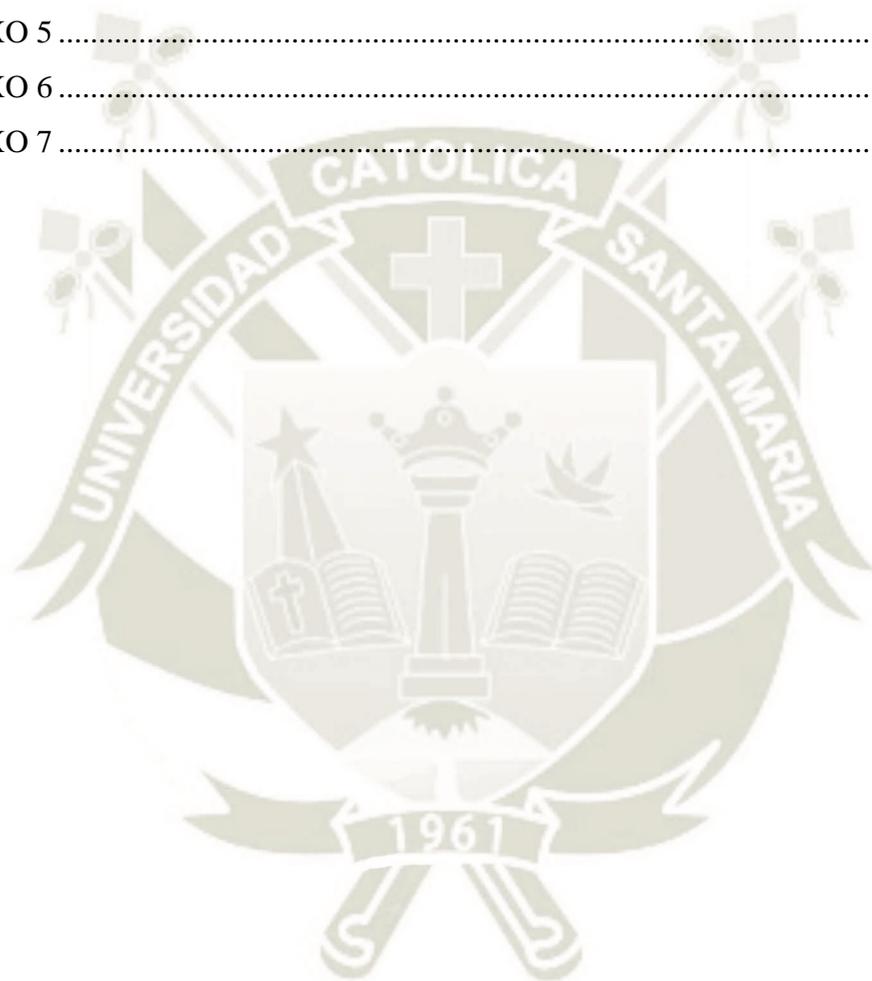
ÍNDICE

RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	
CAPITULO I.....	1
1. ASPECTOS GENERALES.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2.1. Descripción del Problema.....	1
1.2.2. Formulación Interrogativa del Problema.....	1
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.3.1. Objetivo General.....	2
1.3.2. Objetivos Específicos.....	2
1.4. HIPÓTESIS.....	2
1.5. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA.....	2
1.6. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA.....	3
1.7. LIMITACIONES.....	3
CAPITULO II.....	5
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. INTRODUCCIÓN.....	5
2.2. MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM).....	5
2.2.1. Funciones.....	6
2.2.2. Fallas funcionales.....	8
2.2.3. Modos de falla.....	8
2.2.4. Efectos de las fallas.....	10
2.2.5. Consecuencias de las fallas.....	11
2.2.6. Tareas Proactivas.....	12
2.2.7. Acciones “a falta de”.....	19
2.2.8. Diagrama de Flujo del RCM.....	22
2.3. ANÁLISIS DE MODO Y EFECTOS DE FALLOS.....	23
2.4. DIAGRAMA DE DECISIONES.....	25
2.4.1. Árbol Lógico de Decisiones.....	25
2.4.2. Hoja de decisión.....	27

2.5.	ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD	29
2.5.1.	Evolución de la tasa de fallos a lo largo del tiempo. Curva de bañera.....	31
2.5.2.	Modelos matemáticos de distribución de probabilidad de fallos	32
2.5.3.	Disponibilidad	35
2.5.4.	Tiempo óptimo de reemplazo para equipos cuyo costo operativo se incrementa con el uso	36
2.5.5.	Análisis de Costo del Ciclo de Vida.....	37
2.6.	HERRAMIENTAS PARA EL TRATAMIENTO DE DATOS.....	40
2.6.1.	Diagramas de Priorización.....	40
2.6.2.	Diagramas de Dispersión.....	42
2.7.	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DEL ÁREA DE CHANCADO PRIMARIO	48
2.8.	DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS DEL ÁREA DE CHANCADO PRIMARIO ...	54
2.8.1.	Chancadora Primaria (CR-001).....	54
2.8.2.	Alimentador de Placas (FE-001)	65
2.8.3.	Fajas transportadoras (CV-001 y CV-002).....	65
2.8.4.	Electroimán (MA-002).	67
2.8.5.	Detector de metales (MD-005).....	68
2.8.6.	Balanza en faja transportadora (SL-001).....	69
CAPÍTULO III		72
3.	APLICACIÓN DE LA INGENIERÍA DE CONFIABILIDAD	72
3.1.	INTRODUCCIÓN.....	72
3.2.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	72
3.3.	SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS CON MÁS PARADAS.....	73
3.4.	CONTEXTO OPERACIONAL	74
3.5.	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS CON MÁS PARADAS	76
3.6.	ESTRUCTURA JERÁRQUICA DE LOS EQUIPOS CON MÁS PARADAS	80
3.7.	IDENTIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES CRÍTICOS	85
3.7.1.	Análisis por Diagramas de Dispersión de Fallos.....	85
3.8.	HISTORIAL DE FALLOS.....	92
3.8.1.	Historial de fallas caso 1.1 (excéntrica).....	92
3.8.2.	Historial de fallas caso 2.1 (Mantos).....	92
3.8.3.	Historial de fallas caso 3.1 (Sensor de nivel).	93
3.8.4.	Historial de fallas caso 4.1 (elemento de desgaste por caída).	93

3.8.5.	Historial de fallas caso 4.2 (elemento de desgaste por rotura y fisura).	94
3.8.6.	Historial de fallas caso 5.1 (fajas).	95
3.8.7.	Historial de fallas caso 6.1 (Polines / bastidores).	95
3.9.	ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA (AMEF) DE LOS COMPONENTES CRÍTICOS	96
3.9.1.	AMEF: Excéntrica	97
3.9.2.	AMEF: Mantos	98
3.9.3.	AMEF: Sensor de Nivel	99
3.9.4.	AMEF: Fajas Transportadoras	100
3.9.5.	AMEF: Polines y Bastidores	102
3.9.6.	AMEF: Elementos de Desgaste	103
3.9.7.	AMEF: Multilin E3plus	104
3.10.	DETERMINACIÓN DE TAREAS PROACTIVAS	105
3.10.1.	Caso de estudio 1.1 (Excéntrica)	105
3.10.2.	Caso de estudio 2.1 (Mantos)	107
3.10.3.	Caso de estudio 3.1 (Sensor de Nivel)	112
3.10.4.	Caso de estudio 4.1 y 4.2 (Elementos de Desgaste)	117
3.10.5.	Caso de estudio 5.1 (Faja)	119
3.10.6.	Caso de estudio 6.1 (Polines / Bastidores)	124
3.10.7.	Caso de estudio 7.1 (Multilin)	126
3.11.	PROPUESTA DE TAREAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO	134
CAPÍTULO IV		135
4.	ANÁLISIS DE COSTO DEL CICLO DE VIDA	135
4.1.	INTRODUCCIÓN	135
4.2.	COSTO DE INVERSIÓN	135
4.2.1.	Costo de Adquisición de Equipos Especializados	135
4.2.2.	Costo de Tareas Modificadorias	138
4.3.	COSTO DE HORAS HOMBRE ANUALIZADO	138
4.4.	COSTO TOTAL DEL MANTENIMIENTO OPTIMIZADO	140
4.5.	COSTO TOTAL ANUALIZADO DE LAS PÉRDIDAS POR FALLOS CRÍTICOS	140
4.6.	COMPARACIÓN DE COSTOS CON LCCA	141
CONCLUSIONES		143

RECOMENDACIONES	144
REFERENCIAS	145
ANEXOS	147
ANEXO 1	148
ANEXO 2	155
ANEXO 3	160
ANEXO 4	163
ANEXO 5	166
ANEXO 6	169
ANEXO 7	171



ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Formato de AMEF.</i>	24
<i>Tabla 2 Hoja de Decisión del RCM.</i>	28
<i>Tabla 3 Ejemplo de construcción de Pareto de fallas eléctricas.</i>	41
<i>Tabla 4 Costos de los códigos de falla de la tabla 1</i>	46
<i>Tabla 5 Principales Equipos del Área de Chancado Primario</i>	74
<i>Tabla 6 Especificaciones técnicas de la Chancadora Primaria 60” x 113”</i>	77
<i>Tabla 7 Especificaciones técnicas del Alimentador de Placas</i>	78
<i>Tabla 8 Especificaciones técnicas de la Faja de Sacrificio</i>	79
<i>Tabla 9 Especificaciones técnicas de la Faja Overland</i>	80
<i>Tabla 10 Estructura Jerárquica de la Chancadora Primaria 60” x 113”</i>	82
<i>Tabla 11 Clasificación del sistema del Alimentador de Placas</i>	83
<i>Tabla 12 Clasificación del sistema de la Faja de Sacrificio</i>	83
<i>Tabla 13 Clasificación del sistema de la Faja Overland</i>	84
<i>Tabla 14 Análisis de Dispersión de Fallos N° Pardas vs MTTR.</i>	86
<i>Tabla 15 Parámetros para formar los cuadrantes del diagrama de dispersión.</i>	86
<i>Tabla 16 Análisis de Dispersión de Fallos N° Pardas vs MCTR.</i>	88
<i>Tabla 17 Parámetros para formar los cuadrantes del diagrama Jack Knife.</i>	88
<i>Tabla 18 Modos de Fallo y Componentes Críticos para el estudio.</i>	91
<i>Tabla 19 Historial de fallos de la excéntrica.</i>	92
<i>Tabla 20 Historial de fallos de los mantos.</i>	92
<i>Tabla 21 Historial de fallos del sensor de nivel.</i>	93
<i>Tabla 22 Historial de fallos de elementos de desgaste por caída.</i>	93
<i>Tabla 23 Historial de fallos de elementos de desgaste por rotura y fisura.</i>	94
<i>Tabla 24 Historial de fallos de las fajas.</i>	95
<i>Tabla 25 Historial de fallos de las fajas.</i>	95

<i>Tabla 26 AMEF Excéntrica y Tareas Propuestas.</i>	97
<i>Tabla 27 AMEF Mantos y Tareas Propuestas.</i>	98
<i>Tabla 28 AMEF Sensor de Nivel y Tareas Propuestas.</i>	99
<i>Tabla 29 AMEF Faja transportadora y Tareas Propuestas.</i>	100
<i>Tabla 30 AMEF Polines y bastidores y Tareas Propuestas.</i>	102
<i>Tabla 31 AMEF Elementos de Desgaste y Tareas Propuestas.</i>	103
<i>Tabla 32 AMEF Multilin E3plus y Tareas Propuestas.</i>	104
<i>Tabla 33 Hoja de Decisión: Excéntrica.</i>	106
<i>Tabla 34 Tiempo entre fallos y probabilidad de fallo: Caso de estudio 2.1.</i>	107
<i>Tabla 35 Parámetros Weibull: Caso de estudio 2.1.</i>	108
<i>Tabla 36 Hoja de Decisiones: Caso de estudio 2.1.</i>	111
<i>Tabla 37 Tiempo entre fallos y probabilidad de fallo: Caso de estudio 3.1.</i>	112
<i>Tabla 38 Parámetros Weibull: Caso de estudio 3.1.</i>	113
<i>Tabla 39 Hoja de decisiones: Caso de estudio 2.1.</i>	116
<i>Tabla 40 Hoja de Decisión: Elementos de Desgaste.</i>	118
<i>Tabla 41 Tiempo entre fallos y probabilidad de fallo: Caso de estudio 5.1.</i>	119
<i>Tabla 42 Parámetros Weibull: Caso de estudio 5.1.</i>	120
<i>Tabla 43 Hoja de Decisiones: Caso de estudio 5.1.</i>	123
<i>Tabla 44 Hoja de Decisión: Polines y bastidores.</i>	125
<i>Tabla 45 Tiempo entre fallos y probabilidad de fallo: Caso de estudio 7.1.</i>	126
<i>Tabla 46 Datos para el cálculo del parámetro de origen.</i>	128
<i>Tabla 47 Tiempo entre fallos y probabilidad de fallo con parámetro de origen: Caso de estudio 7.1.</i>	128
<i>Tabla 48 Parámetros Weibull: Caso de estudio 7.1.</i>	130
<i>Tabla 49 Hoja de Decisiones: Caso de estudio 2.1.</i>	133
<i>Tabla 50 Costos de inversión inicial de equipos especializados.</i>	137

<i>Tabla 51 Costo de tareas modificatorias.</i>	<i>138</i>
<i>Tabla 52 Costo anualizado de HH de las tareas para optimizar el mantenimiento.</i>	<i>139</i>
<i>Tabla 53 Resumen del costo total para optimizar el mantenimiento.</i>	<i>140</i>
<i>Tabla 54 Pérdidas por causas de fallo críticos identificados.</i>	<i>140</i>
<i>Tabla 55 LCCA con mantenimiento optimizado.</i>	<i>141</i>
<i>Tabla 56 LCCA con mantenimiento actual.</i>	<i>141</i>



ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1</i> Parámetros de funcionamiento.....	7
<i>Figura 2</i> Categorías de modos de falla.....	9
<i>Figura 3</i> Curva e intervalo P-F.....	13
<i>Figura 4</i> Intervalo P-F neto.	14
<i>Figura 5</i> Diagrama de Flujo RCM.....	23
<i>Figura 6</i> Árbol de decisiones RCM.....	26
<i>Figura 7</i> Curva de la Bañera.....	31
<i>Figura 8</i> Curvas de Confiabilidad.....	33
<i>Figura 9</i> Tasa de fallos según Weibull.....	34
<i>Figura 10</i> Ciclo de operación.....	35
<i>Figura 11</i> Tiempo de reemplazo óptimo.....	37
<i>Figura 12</i> Características de los costos.....	39
<i>Figura 13</i> Ejemplo de un Diagrama de Pareto referente de tabla 1.....	41
<i>Figura 14</i> Diagrama de Dispersión de MTTR vs Número de fallas.....	43
<i>Figura 15</i> Logaritmo del Diagrama de Dispersión de MTTR vs Número de fallas.....	44
<i>Figura 16</i> Límites del Diagrama de Dispersión de MTTR vs Número de fallas.....	45
<i>Figura 17</i> Diagrama de Dispersión de Costos.....	47
<i>Figura 18</i> Diagrama de bloques del circuito de Chancado Primario.....	48
<i>Figura 19</i> Diagrama de ubicación del circuito de Chancado Primario.....	49
<i>Figura 20</i> Diagrama de flujo general de Chancado Primario.....	50
<i>Figura 21</i> Diagrama de bloques de ingresos y salidas del circuito de Chancado Primario.....	51
<i>Figura 22</i> Corte en 3D del Circuito de Chancado Primario.....	52
<i>Figura 23</i> Diagrama de Flujo del Circuito de Chancado Primario.....	53
<i>Figura 24</i> Principio de funcionamiento de la chancadora.....	54

<i>Figura 25</i>	<i>Cuerpo – Parte de la chancadora primaria</i>	55
<i>Figura 26</i>	<i>Eje principal – Parte de la chancadora primaria</i>	56
<i>Figura 27</i>	<i>Spider – Parte de la chancadora primaria</i>	57
<i>Figura 28</i>	<i>Excéntrica – Parte de la chancadora primaria</i>	58
<i>Figura 29</i>	<i>Sistema de accionamiento - Parte de la chancadora primaria</i>	59
<i>Figura 30</i>	<i>Puntos de lubricación – Parte de la chancadora primaria</i>	60
<i>Figura 31</i>	<i>Ajuste del CSS y OSS (imagen de referencia)</i>	61
<i>Figura 32</i>	<i>Sistema hidráulico de absorción de impacto – Parte de la chancadora primaria</i>	62
<i>Figura 33</i>	<i>Sistema de lubricación del spider – Parte de la chancadora primaria</i>	63
<i>Figura 34</i>	<i>Sello de polvo – Parte de la chancadora primaria</i>	64
<i>Figura 35</i>	<i>Desplazamiento de carga en alimentador de placas</i>	65
<i>Figura 36</i>	<i>Faja transportadora de sacrificio</i>	66
<i>Figura 37</i>	<i>Polines de carga y de retorno</i>	66
<i>Figura 38</i>	<i>Electroimán</i>	67
<i>Figura 39</i>	<i>Detector de metales</i>	68
<i>Figura 40</i>	<i>Campo magnético primario del electroimán</i>	69
<i>Figura 41</i>	<i>Balanza de faja de sacrificio</i>	70
<i>Figura 42</i>	<i>Ubicación de la balanza en la faja</i>	70
<i>Figura 43</i>	<i>Cantidad de Paradas por Equipo del área de chancado primario</i>	73
<i>Figura 44</i>	<i>Diagrama de Dispersión N° Paradas vs MTTR</i>	87
<i>Figura 45</i>	<i>Diagrama de Dispersión de Fallos N° Paradas vs MCTR</i>	90
<i>Figura 46</i>	<i>Ruta del árbol de decisiones: AMEF Excéntrica 1A1</i>	105
<i>Figura 47</i>	<i>Ruta del árbol de decisiones: Excéntrica AMEF 1A2, 2A1 y 2B1</i>	105
<i>Figura 48</i>	<i>Distribución Weibull: Caso de estudio 2.1</i>	107
<i>Figura 49</i>	<i>Probabilidad de Densidad de Fallo: Caso de estudio 2.1</i>	108

<i>Figura 50 Tasa de fallos: Caso de estudio 2.1.....</i>	<i>109</i>
<i>Figura 51 Confiabilidad: Caso de estudio 2.1.....</i>	<i>109</i>
<i>Figura 52 Distribución Weibull: Caso de estudio 3.1.....</i>	<i>113</i>
<i>Figura 53 Probabilidad de Densidad de Fallo: Caso de estudio 3.1.</i>	<i>114</i>
<i>Figura 54 Tasa de fallos: Caso de estudio 3.1.....</i>	<i>114</i>
<i>Figura 55 Confiabilidad: Caso de estudio 3.1.....</i>	<i>115</i>
<i>Figura 56 Ruta del árbol de decisiones: AMEF Elementos de Desgaste 1A1 y 1A2.....</i>	<i>117</i>
<i>Figura 57 Distribución Weibull: Caso de estudio 5.1.....</i>	<i>120</i>
<i>Figura 58 Probabilidad de Densidad de Fallo: Caso de estudio 5.1.</i>	<i>121</i>
<i>Figura 59 Tasa de fallos: Caso de estudio 5.1.....</i>	<i>121</i>
<i>Figura 60 Confiabilidad: Caso de estudio 5.1.....</i>	<i>122</i>
<i>Figura 61 Ruta del árbol de decisiones: AMEF Polines/Bastidores 1A1 y 1A2.....</i>	<i>124</i>
<i>Figura 62 Ruta del árbol de decisiones: AMEF Polines/Bastidores 2A1 y 2A2.....</i>	<i>124</i>
<i>Figura 63 Distribución Weibull: Caso de estudio 7.1.....</i>	<i>127</i>
<i>Figura 64 Distribución Weibull con parámetro de origen: Caso de estudio 7.1.....</i>	<i>130</i>
<i>Figura 65 Probabilidad de Densidad de Fallo: Caso de estudio 7.1.</i>	<i>131</i>
<i>Figura 66 Tasa de fallos: Caso de estudio 7.1.....</i>	<i>131</i>
<i>Figura 67 Confiabilidad: Caso de estudio 7.1.....</i>	<i>132</i>
<i>Figura 68 Comparación de LCCA: Mantenimiento optimizado vs Mantenimiento actual.</i>	<i>142</i>

CAPITULO I

1. ASPECTOS GENERALES

1.1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, el área de mantenimiento de la empresa minera no cuenta con estrategias eficientes para poder disminuir los fallos más comunes de los equipos del proceso de chancado primario, ya que no distinguen los fallos más relevantes y no se analiza eficientemente la causa raíz de los fallos, provocando un impacto relevante en la producción de concentrado de cobre por la baja disponibilidad que están teniendo sus equipos en los últimos años, donde muchas veces no han llegado a la producción esperada, teniendo costos por pérdidas de producción altos.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1. Descripción del Problema

Esta empresa minera cuenta con una planta concentradora de cobre que tiene como parte de su proceso un área de Chancado Primario (tema de estudio) conformado por una serie de equipos que se encargan de la primera reducción diametral de la roca y su traslado para seguir con el proceso de obtención de concentrado de mineral de cobre. Es justamente en esta área donde se quiere optimizar el mantenimiento para mejorar las disponibilidades de los equipos que la conforman.

En el año 2017 la disponibilidad fue 82.43%, por debajo de lo que permiten actualmente las industrias mineras, y con costos por pérdidas de producción de más de \$600,000.00 por año; esto se debe a que se ha tenido muchas paradas repetitivas con tiempos de reparación altos, los cuales van a ser tema de estudio para este trabajo.

Esto ha significado que la empresa no pueda llegar en los últimos años a su target planificado en producción de concentrado de cobre.

1.2.2. Formulación Interrogativa del Problema

Dada esta situación problemática, el problema que da inicio al presente trabajo puede ser formulado con la siguiente pregunta:

¿Cómo mejorar la disponibilidad y productividad de los equipos del área de Chancado Primario de una Planta Concentradora de Mineral de Cobre para obtener su máximo beneficio?

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo General

Proponer un plan para optimizar el mantenimiento del área de chancado primario de una planta concentradora de mineral de cobre, de tal forma que se pueda aumentar la disponibilidad y producción para obtener el máximo beneficio de los activos.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Aumentar la disponibilidad actual de los equipos principales del área de chancado primario hasta un 85% luego de optimizar el mantenimiento.
- Establecer la situación actual del mantenimiento de los equipos que conforman el área de Chancado Primario con el histórico de fallos y contexto operacional de la minera.
- Identificar las fallas que provocan mayores paradas imprevistas en el área de chancado primario, así como su duración y costos por pérdida de producción.
- Analizar los fallos identificados con el AMEF y proponer tareas proactivas que optimicen el mantenimiento del área de Chancado Primario con la ingeniería de confiabilidad.
- Analizar los costes relacionados con la optimización del mantenimiento y el mantenimiento actual de la empresa minera.

1.4. HIPÓTESIS

Implementando nuevas técnicas de ingeniería de confiabilidad en los equipos de Chancado Primario, es posible incrementar la disponibilidad, producción y obtener el máximo beneficio de los equipos o componentes.

1.5. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA

- Los resultados servirán para que los responsables de la gestión de mantenimiento puedan tomar decisiones acertadas para optimizar el mantenimiento, implementando nuevas tareas proactivas que reducirán las paradas imprevistas del área de chancado primario.

- La disponibilidad del área de chancado primario en el año 2017 alcanzó el 82.43% por debajo de la disponibilidad planificada para ese año, por lo que la metodología desarrollada en el presente trabajo tendrá la finalidad de mejorar la disponibilidad de los equipos.
- El área de mantenimiento no cuenta con herramientas de gestión basadas en la ingeniería de confiabilidad, por lo que el desarrollo de esta metodología implementará nuevos procesos en la gestión del mantenimiento que pueden ser retroalimentados para poder tener una optimización del mantenimiento constante.

1.6. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

- Esta investigación también tendrá beneficios económicos en la empresa minera, ya que, al reducir las paradas imprevistas del área de chancado primario, se tendrá mayor producción de concentrado de cobre, por lo tanto, mayor generación y venta del metal purificado.
- Las paradas imprevistas generan mayor demanda de mano de obra y repuestos sin planificar, por lo tanto, al reducir estas paradas imprevistas, los costos por mano de obra y repuestos imprevistos se verán reducidos.
- El desarrollo de esta investigación también ayudará a identificar la cantidad de repuestos y componentes reparados necesarios que se deben tener dentro de la minera, ahorrando costos de transporte y almacenaje como gestionar reparaciones innecesarias de componentes.

1.7. LIMITACIONES

- La minera tiene diecisiete procesos para la producción del mineral de cobre, en la presente tesis se enfocó únicamente en el proceso del área de chancado primario.
- Para la identificación de los fallos críticos se utilizó el histórico de fallos recolectado por personal del área de mantenimiento de la minera.
- El análisis de modo y efecto de falla (AMEF), solo se ejecutó a los subsistemas o componentes mecánicos críticos y se obvió la parte de electricidad e instrumentación.
- La inexistencia de trabajos similares que puedan servir de antecedentes y puntos de partida con referencia a la metodología utilizada para optimizar el

mantenimiento de los equipos del área de chancado primario de la minera
dificultó el desarrollo de la tesis.



CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. INTRODUCCIÓN

Las nuevas metodologías y conceptos como la ingeniería de confiabilidad han hecho que el mantenimiento sea una parte importante en la industria, ya que poner en riesgo la operatividad de los equipos atentan a los objetivos del negocio. Es por ello que es importante conocer las nuevas metodologías de la ingeniería de confiabilidad, como conocer en su plenitud la operación y funcionamiento de los equipos que se deben mantener (Moubray, 2004).

2.2. MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM)

Desde el punto de vista de Ingeniería hay dos elementos que hacen al manejo de cualquier activo: debe ser mantenido y de tanto en tanto quizás también debe ser modificado. Esto sugiere que “mantenimiento” significa preservar algo y modificarlo significa cambiarlo de alguna manera. Por ello una definición de mantenimiento sería: “asegurar que los activos continúen haciendo lo que los usuarios quieren que hagan.”

Ahora los requerimientos de los usuarios van a depender de cómo y cuándo se utilice el activo (contexto operacional); esto lleva a la siguiente definición formal de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad: “proceso utilizado para determinar los requerimientos de mantenimiento de cualquier activo en su contexto operacional” (Moubray, 2004). A la luz de la anterior definición de mantenimiento, una definición más completa de RCM sería: “proceso utilizado para determinar que debe hacerse para asegurar que todo activo continúe haciendo lo que sus usuarios quieran que hagan en su actual contexto operacional.”

El proceso RCM formula siete preguntas acerca del activo que se va a someter al análisis RCM (Moubray, 2004):

- ¿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?

- ¿En qué sentido es importante cada falla?
- ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?
- ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

Para llevar a cabo lo anterior el RCM emplea técnicas de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo. Los siete puntos anteriores son detallados a continuación (Moubray, 2004).

2.2.1. Funciones

La descripción de la función de un activo debe consistir de un verbo, un objeto y un parámetro de funcionamiento deseado, los que deben ser descritos tomando en cuenta el contexto operacional del activo.

Todo activo físico tiene más de una función, frecuentemente varias, y todas ellas deben ser identificadas junto con sus parámetros de funcionamiento específicos.

Las funciones se dividen en dos categorías principales: funciones primarias y secundarias (Moubray, 2004).

2.2.1.1. Funciones primarias

Son la razón principal de porque es adquirido y existe el activo, por eso se debe cuidar de definirlos tan precisamente como sea posible. Las funciones primarias son fáciles de reconocer, de hecho, el nombre de la mayoría de los activos físicos industriales se basa en su función primaria (Moubray, 2004).

2.2.1.2. Funciones secundarias

Se pretende que la mayoría de los activos cumplan una o más funciones además de la primaria, las cuales se conocen como funciones secundarias.

La función o funciones secundarias son menos obvias que la principal, pero a veces requieren mayor atención y las consecuencias de falla de estas pueden ser de mayor gravedad que las primarias, por lo que deben ser claramente identificadas (Moubray, 2004).

2.2.1.3. Parámetros de Funcionamiento

El objetivo del mantenimiento es asegurarse de que los activos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que haga, lo que puede definirse como parámetro mínimo de funcionamiento.

Esto significa que el funcionamiento puede ser definido de las siguientes dos formas:

- Funcionamiento deseado: lo que el usuario quiere que haga
- Capacidad inicial: lo que puede hacer

Figura 1 Parámetros de funcionamiento



Fuente: Moubray, 2004.

Cuando cualquier activo es puesto en funcionamiento, debe ser capaz de rendir más que el parámetro mínimo de funcionamiento deseado por el usuario.

Los parámetros de funcionamiento los podemos subdividir en diferentes categorías:

- Parámetros de funcionamiento múltiple: muchas descripciones de funciones incorporan generalmente varios parámetros de funcionamiento.
- Parámetros de funcionamiento cuantitativos: Deben ser cuantificados cuando fuese posible, ya que éstos pueden medirse (Ej.: temperatura, presión, velocidad, etc.).
- Parámetros de funcionamiento absolutos: Una descripción que no indica ningún parámetro de funcionamiento, por lo general implica que se trata de un absoluto (Ej.: contener un fluido), (Moubray, 2004).

2.2.1.4. El contexto operacional

Indica las condiciones de operación del activo, y afecta a todo el proceso de formulación de estrategias de mantenimiento, comenzando por la definición de funciones. Algunos de los factores importantes que deben ser considerados son:

- Aplicación
- Turnos de trabajo.
- Sobrecargas.
- Condición física del lugar (Moubray, 2004).

2.2.2. Fallas funcionales

Un activo falla cuando no hace lo que el usuario desea que haga.

Una falla funcional puede ser una pérdida total de una función o también puede ser en las que el comportamiento funcional queda al margen de los parámetros de funcionamiento establecidos.

Cada activo tiene más de una función, por lo tanto, al ser posible que cada una de éstas falle, se deduce que cualquier activo puede tener una variedad de estados de fallas diferentes. Entonces es preciso definir una falla en términos de “pérdida de una función específica” y no con la “falla del activo como un todo”. Dado que este se aplica a funciones individuales, podemos definir una falla funcional como: “la incapacidad de cualquier activo de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable para el usuario” (Moubray, 2004).

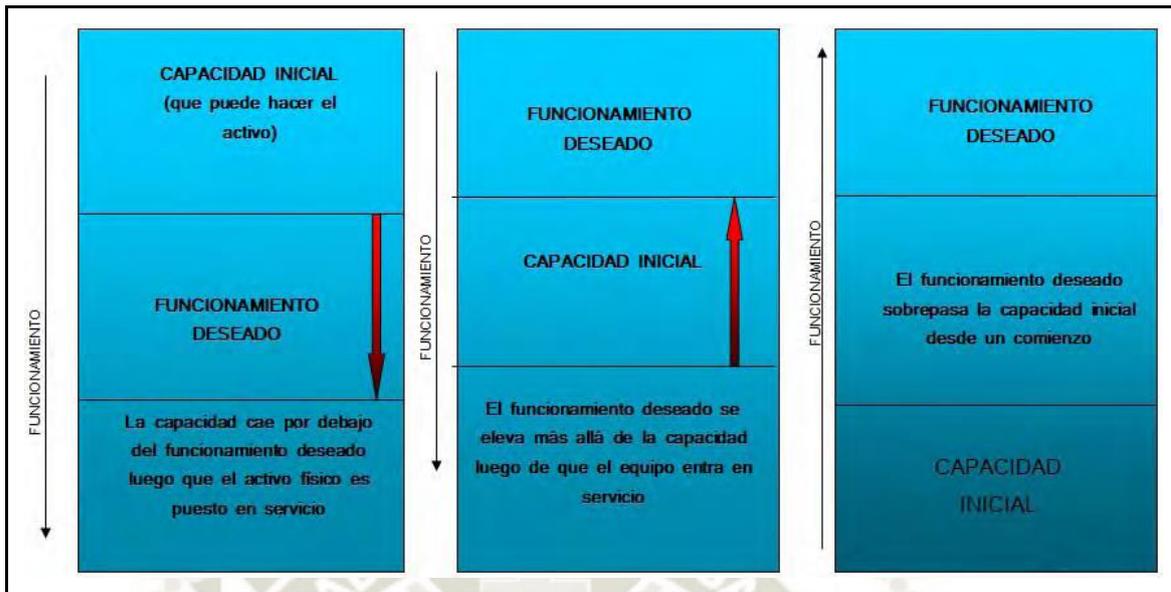
2.2.3. Modos de falla

Un modo de falla puede ser definido como cualquier evento que causa una falla funcional. La descripción correcta de un modo de falla debe consistir de un sustantivo y un verbo (Moubray, 2004).

2.2.3.1. Categorías de modos de falla

Los modos de falla pueden ser clasificados en tres grupos de la siguiente manera, Figura 2.

Figura 2 Categorías de modos de falla.



Fuente: (Moubray, 2004)

- Capacidad bajo el funcionamiento deseado: Deterioro (fatiga, corrosión, abrasión, erosión, evaporación, degradación, etc.), fallas de lubricación (falta y falla del lubricante), polvo o suciedad, desarme (falla en: soldaduras, uniones, remaches, bulones, conexiones, etc.), errores humanos (reducción de capacidad).
- Capacidad por sobre el funcionamiento deseado: El funcionamiento deseado aumenta hasta que el activo no puede responder, el aumento del esfuerzo causa que se acelere el deterioro hasta el punto en que el activo se torna tan poco confiable que deja de ser útil.
- Capacidad Inicial fuera del rango desde el inicio: A veces surgen situaciones en las que el funcionamiento deseado está fuera del rango de capacidad inicial desde el comienzo (Moubray, 2004).

2.2.3.2. Cantidad de Detalle

El nivel de detalle afecta profundamente la validez del análisis de modos de falla y la cantidad de tiempo que requiere hacerlo. La escasez de detalles y/o modos de falla puede llevar a un análisis superficial y hasta peligroso. Por el contrario, demasiados modos de falla o demasiado detalle hacen que todo el proceso RCM lleve mucho más tiempo que el necesario.

Esto significa que es esencial tratar de lograr un equilibrio correcto (Moubray, 2004).

2.2.4. Efectos de las fallas

En el proceso de implementación de RCM hay que hacer una lista de lo que sucede al producirse cada modo de falla. Esto se denomina efectos de falla. Al describir los efectos de una falla, debemos incluir toda la información necesaria para ayudar en la evaluación de las consecuencias de las fallas y debe hacerse constar lo siguiente:

- La evidencia de que se ha producido una falla: Debe permitir a los operarios si la falla será evidente para ellos en el desempeño de sus tareas normales. También debe indicar si va precedida por: ruidos, fuego, humo, fugas de fluidos, si se detiene el equipo, etc. Si se tratase de dispositivos de seguridad, debe detallarse que sucedería si fallase el dispositivo protegido mientras el dispositivo de seguridad se encuentra en estado de falla.
- En que forma la falla supone una amenaza para la seguridad o el medio ambiente: Debe señalarse la manera en que pueda lesionarse o morir alguna persona o infringir alguna normativa o reglamento relativo al medio ambiente como consecuencia de una falla.
- Las maneras en que afecta a la producción o a las operaciones: Debe indicarse cómo y cuánto afecta, ya sea por parada de máquina o varias de ellas, interrupciones líneas de proceso, etc.
- Los daños físicos causados por la falla: Cuantificar los daños.
- Que debe hacerse para reparar la falla: Cuales son las medidas correctivas a tomar para repararla (Moubray, 2004).

2.2.4.1. Fuentes de Información sobre modos y efectos

Las fuentes de información más comunes acerca de modos de falla y sus efectos son las siguientes:

- El fabricante o proveedor del equipo.
- Otros usuarios de la misma maquinaria.
- Personal de mantención.
- Operadores del equipo.

- Listas genéricas de modos de falla.

Las fuentes de información anteriores, son importantísimas a la hora de establecer un análisis RCM, pero no deben ser absolutas ni las únicas, ya que no siempre se adecuarán a las funciones, parámetros de funcionamiento y contexto operacional del activo a analizar (Moubray, 2004).

2.2.5. Consecuencias de las fallas

Las consecuencias de las fallas se clasifican en cuatro categorías de importancia decreciente de la siguiente manera:

- Consecuencias del Fallo Oculto: Un modo de falla tiene consecuencias por fallas ocultas si la pérdida de función causada por este modo de fallo actuando por sí solo en circunstancias normales es evidente a los operarios.
- Consecuencias para la Seguridad o el Medio Ambiente: Un modo de falla tiene consecuencias para la seguridad o el medio ambiente si causa una pérdida de función y produce daños que pudieran lesionar o matar a alguien; o infringir cualquier normativa o reglamento ambiental conocido.
- Consecuencias operacionales: Un modo de falla tiene consecuencias operacionales si tiene un efecto adverso directo sobre la capacidad operacional afectando: el volumen de producción, calidad del producto, servicio al cliente o incrementar el costo operacional.
- Consecuencias no operacionales: No ejercen un efecto adverso directo sobre la seguridad, el medio ambiente o la capacidad operacional, sólo tiene consecuencias en los costos directos de reparación (Moubray, 2004).

2.2.5.1. Funciones ocultas y evidentes

Una función evidente es aquella cuya falla finalmente e inevitablemente será evidente por sí sola a los operadores en circunstancias normales. No obstante, algunas fallas ocurren de tal forma que nadie sabe que el elemento se ha averiado a menos que se produzca alguna otra falla. Esto significa que una función oculta es aquella cuya falla no se hará evidente a los operarios bajo circunstancias normales, si se produce por sí sola (Moubray, 2004).

2.2.5.2. Fallas ocultas y dispositivos de seguridad

Los dispositivos de seguridad o de protección funcionan de una de cinco maneras:

- Alertar ante condiciones anormales de funcionamiento.
- Parar el equipo en caso de falla.
- Eliminar o aliviar las condiciones anormales originadas por una falla y de que otra manera podrían causar daños más serios.
- Asumir control de una función que ha fallado.
- Prevenir que surjan situaciones peligrosas (Moubray, 2004).

2.2.5.3. Prevención de la falla oculta

Para prevenir una falla múltiple, debemos asegurar que la función oculta no se encuentre en estado de falla y si cuando falla la función protegida.

Hay que dar la disponibilidad necesaria para reducir la probabilidad de una falla múltiple a un nivel tolerable, entonces: "Para fallas ocultas, merece la pena realizar una tarea proactiva si asegura la disponibilidad necesaria para reducirla probabilidad de una falla múltiple a un nivel tolerable" (Moubray, 2004).

Si no es posible encontrar una manera adecuada de prevenir una falla oculta, todavía es posible reducir el riesgo de una falla múltiple revisando la función oculta periódicamente para saber si sigue funcionando. Si esta revisión es llevada a cabo a intervalos adecuados y si la función es restaurada en cuánto se descubre que está defectuosa, todavía es posible asegurar altos niveles de disponibilidad (Moubray, 2004).

2.2.6. Tareas Proactivas

Son tareas comenzadas antes de que ocurra una falla, con el objetivo de prevenir que el componente llegue a un estado de falla. 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, 2004).

2.2.6.1. Factibilidad técnica y merecer la pena

Cuando preguntamos si una tarea proactiva es técnicamente factible, estamos simplemente preguntando si a la tarea le es posible prevenir o anticipar la falla en cuestión. Si una tarea proactiva es técnicamente factible o no, depende de las características técnicas del modo de falla y de la tarea.

Cualquier tarea proactiva sólo merece la pena ser realizada si resuelve adecuadamente las consecuencias de la falla que se pretende evitar.

Esto ciertamente supone que es posible anticipar o prevenir la falla. Si una tarea proactiva es técnicamente factible o no, depende de las características técnicas de la tarea, y de la falla que pretende evitar (Moubray, 2004).

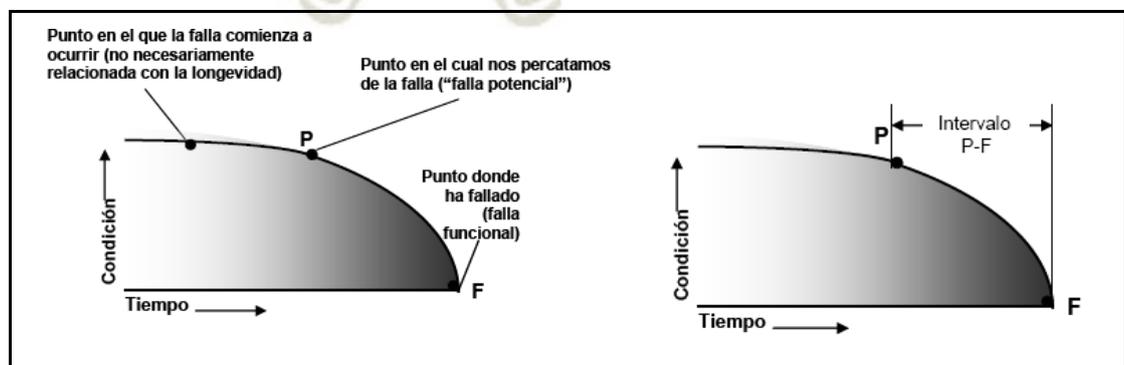
2.2.6.2. Fallas potenciales

La Figura 3 ilustra lo que sucede en los estados finales de la falla.

Se llama curva P-F, porque muestra como comienza la falla, como se deteriora al punto en que puede ser detectada (P) y luego, si no es detectada y corregida, continúa deteriorándose, generalmente muy rápido, hasta que llega al punto de falla funcional (F).

El punto en el proceso de la falla en el que es posible detectar si la falla está ocurriendo o si está a punto de ocurrir se conoce como falla potencial. En otras palabras, una falla potencial es un estado identificable que indica que una falla funcional está a punto de ocurrir o en el proceso de ocurrir (Moubray, 2004).

Figura 3 Curva e intervalo P-F.



Fuente: (Moubray, 2004)

a) El intervalo P-F

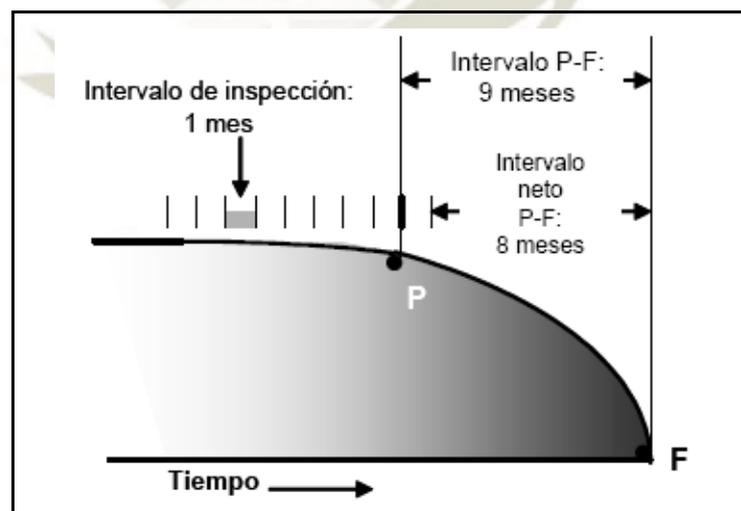
Además de la falla potencial en sí misma, necesitamos considerar la cantidad de tiempo que transcurre entre el punto en el que ocurre una falla potencial y el punto en el que se deteriora llegando a la falla funcional. Como lo muestra la figura 15 este rango se conoce como el intervalo P-F. El intervalo P-F nos permite decir con que frecuencia deben realizarse las tareas a condición.

Si queremos detectar la falla potencial antes de que se convierta en falla funcional, el intervalo entre las revisiones debe ser menor al intervalo P-F. En la práctica generalmente basta con seleccionar una frecuencia de tarea igual a la mitad del intervalo P-F. Esto lleva al concepto de intervalo P-F neto (Moubray, 2004).

b) Intervalo P-F neto

El intervalo P-F es el mínimo intervalo que es probable que transcurra entre el descubrimiento de una falla potencial y la ocurrencia de la falla funcional. Esto se ilustra en la Figura 4, la que muestra una falla con un intervalo P-F de nueve meses, lo que indica que si el elemento es inspeccionado mensualmente, el intervalo P-F es de 8 meses.

Figura 4 Intervalo P-F neto.



Fuente: (Moubray, 2004)

Ahora las tareas a condición consisten en chequear si hay fallas potenciales, que permitan actuar para prevenir la falla funcional o evitar las consecuencias de la falla funcional (Moubray, 2004).

2.2.6.3. Tareas de reacondicionamiento cíclico

El reacondicionamiento cíclico consiste en actuar periódicamente para reacondicionar a su condición original una pieza o componente existente.

Una definición específica sería: “El reacondicionamiento cíclico consiste en reconstruir un componente o hacer una gran reparación a un conjunto ensamblado completo antes de, o en el límite de edad específico, independientemente de su condición en ese momento” (Moubray, 2004).

a) Frecuencia de reacondicionamiento cíclico

La frecuencia de una tarea de reacondicionamiento cíclico está gobernada por la edad en la que la pieza o componente muestra un rápido incremento en la probabilidad condicional de falla. Las tareas de reacondicionamiento cíclico son satisfactoriamente determinadas sobre la base de antecedentes históricos confiables (Moubray, 2004).

b) Factibilidad técnica del reacondicionamiento cíclico

Las tareas de reacondicionamiento cíclico son técnicamente factibles si:

- Hay una edad identificable en la que la pieza muestra un rápido incremento en la probabilidad condicional de falla.
- Que la mayoría de las piezas sobrevivan a esta edad.
- Se restaura la resistencia original de la pieza a la falla.
- Efectividad del reacondicionamiento cíclico

Aunque sea técnicamente factible, puede que no merezca la pena el reacondicionamiento cíclico porque puede que otras tareas sean aún más efectivas. Algunas de las razones por las que no vale la pena realizar reacondicionamiento cíclico son:

Una reducción en el número de fallas no es suficiente si la falla tiene consecuencias para la seguridad o el medio ambiente, porque queremos eliminar totalmente estas fallas.

Si las consecuencias son económicas, necesitamos estar seguros de que a lo largo de un período de tiempo, el costo de realizar la tarea de reacondicionamiento cíclico es menor al costo de permitir que ocurra la falla (Moubray, 2004).

2.2.6.4. Tareas de sustitución cíclica

Las tareas de sustitución cíclica consisten en descartar un elemento o componente antes de, o en el límite de edad específico, independiente de su condición en el momento. La filosofía de estas tareas es reemplazar la parte usada por una nueva, la que restaurará a su condición original (Moubray, 2004).

a) Frecuencia de la sustitución cíclica

Al igual que las tareas de reacondicionamiento cíclico, la frecuencia de una tarea de sustitución cíclica está gobernada por la edad a la que la pieza o componente muestra un rápido incremento en la probabilidad condicional de falla.

b) Factibilidad técnica de la sustitución cíclica

Las tareas de sustitución cíclicas son técnicamente factibles bajo las siguientes circunstancias:

- Hay una edad identificable en la que la pieza muestra un rápido incremento en la probabilidad condicional de falla.
- La mayoría de los elementos sobreviven a esta edad (Moubray, 2004).

2.2.6.5. Tareas a condición

Las tareas a condición son conocidas como mantenimiento predictivo, ya que se evalúa el estado del componente y se decide cuál acción tomar.

a) Factibilidad técnica de tareas a condición

Las tareas a condición son técnicamente factibles si:

- Es posible definir una condición clara de falla potencial.
- El intervalo P-F es razonablemente consistente.
- Resulta práctico monitorear el elemento a intervalos menores al intervalo P-F.

- El intervalo P-F neto es lo suficientemente largo como para ser de alguna utilidad, o lo suficientemente largo como para actuar a fin de reducir o eliminar las consecuencias de la falla funcional (Moubray, 2004).

b) Categorías de técnicas a condición

Las cuatro categorías principales de técnicas a condición son las siguientes:

- Técnicas de monitoreo de condición: implica el uso de algún equipo especializado para monitorear el estado de otros equipos y sus fallas potenciales. Algunas de ellas son clasificadas como de efectos: dinámicos, de partículas, químicas, físicas, de temperatura, eléctricas, etc.
- Técnicas basadas en variaciones en la calidad del producto.
- Técnicas de monitoreo de los efectos primarios: que implican el uso inteligente de indicadores existentes y equipo de monitoreo de procesos.
- Técnicas de inspección basadas en los sentidos humanos (Moubray, 2004).

c) Realización tareas a condición

Las tareas a condición deben satisfacer los siguientes criterios para que justifique su ejecución:

- Si una falla es oculta, no tiene consecuencias directas: Entonces una tarea a condición cuya intención es prevenir una falla oculta, debe reducir el riesgo de una falla múltiple a un nivel aceptablemente bajo. En la práctica, debido a que la función es oculta, muchas de las fallas potencial es que normalmente afectan a las evidentes también serán ocultas.
- Si la falla tiene consecuencias para la seguridad o el medioambiente: sólo merece la pena realizar una tarea a condición si fiablemente da suficiente advertencia de la falla como para que se pueda actuar a tiempo para evitar las consecuencias para la seguridad o el medioambiente.

- Si la falla no afecta a la seguridad, la tarea debe ser eficaz en cuanto a los costos: O sea a lo largo de un período de tiempo el costo de realizar la tarea a condición debe ser menor al costo de no hacerla (Moubray, 2004).

2.2.6.6. Selección de tareas proactivas

Muchas veces es difícil decidir si una tarea proactiva es técnicamente factible. Las características de la falla rigen esta decisión, y generalmente son lo suficientemente claras como para que la decisión sea simplemente cuestión de sí o no, ahora decidir si merece la pena ser realizadas suele requerir más deliberación. El orden básico de preferencia para seleccionar tareas proactivas es el siguiente (Moubray, 2004).

a) Tareas a condición

Las tareas a condición son consideradas primero en el proceso de selección de tareas, por las siguientes razones:

- Generalmente son realizadas sin desplazar el activo físico de su ubicación y normalmente mientras funciona: Rara vez interfieren en el proceso de producción y son fáciles de organizar.
- Identifican condiciones específicas de falla potencial: de modo que se puede definir claramente la acción correctiva antes de que comience el trabajo, lo que reduce la cantidad de trabajos de reparación, y hace posible realizarlos más rápidamente.
- El identificar el punto de falla potencial en los equipos: les permite cumplir con casi toda su vida útil (Moubray, 2004).

b) Tareas de reacondicionamiento cíclico

Si no puede encontrarse una tarea a condición apropiada para una falla en particular, la opción siguiente es una tarea de reacondicionamiento cíclico. Ésta también debe ser técnicamente factible, por lo que las fallas deben estar concentradas alrededor de una edad promedio. Si lo están, el reacondicionamiento cíclico antes de esta edad puede reducir la incidencia de fallas funcionales. Algunas de las ventajas del reacondicionamiento cíclico son:

- Solamente pueden realizarse deteniendo el activo y enviándolo al taller: por lo que estas tareas de alguna manera afectan a la producción.
- El límite de edad se aplica a todos los elementos: entonces muchos elementos o componentes que podrían haber sobrevivido más tiempo serán removidos.
- Las tareas de reacondicionamiento involucran trabajos de taller: por lo que generan una carga mucho mayor que las tareas a condición (Moubray, 2004).

c) **Tareas de sustitución cíclica**

La sustitución cíclica normalmente es la menos eficaz en cuanto a costos de las tres tareas proactivas. Sin embargo, cuando es técnicamente factible, posee algunas características deseables. Puede ocurrir que la sustitución de un elemento sea capaz de prevenir ciertas fallas que no estaban consideradas o se pasaron por alto críticas (Moubray, 2004).

d) **Combinación de tareas**

Para algunos modos de falla con consecuencias para la seguridad o el medio ambiente, no se puede encontrar una tarea que por sí sola reduzca el riesgo de falla a un nivel tolerablemente bajo, ni tampoco un rediseño adecuado. En estos casos a veces es posible encontrar una combinación de tareas, generalmente de dos categorías de tareas diferentes, lo que reduce el riesgo de falla a un nivel tolerable. Cada tarea es llevada a cabo con frecuencia propia (Moubray, 2004).

2.2.7. Acciones “a falta de”

Este punto trata de que se debe hacer si no se encuentra una tarea proactiva adecuada. Esto comienza con una revisión de las tareas de búsqueda de falla y luego considera el rediseño (Moubray, 2004).

2.2.7.1. **Búsqueda de falla y fallas múltiples**

Las tareas de búsquedas de falla consisten en chequear una función oculta a intervalos regulares para ver si ha fallado.

Una falla múltiple ocurre cuando falla una función protegida mientras un dispositivo de protección se encuentra en estado de falla. La probabilidad de

una falla múltiple puede ser reducida aumentando la disponibilidad del dispositivo de seguridad (Moubray, 2004).

2.2.7.2. Aspectos técnicos de la búsqueda de falla

El objetivo de la búsqueda de falla es darnos la tranquilidad de que un dispositivo de seguridad proveerá la protección requerida si fuese necesario, o sea estamos chequeando que todavía funcione. Algunos de los puntos principales que se le hacen a este tema son:

- Chequear el sistema de protección completo

Una tarea de búsqueda de falla debe asegurar de detectar todos los modos de falla que tienen posibilidad de causar la falla del dispositivo de seguridad. Lo ideal sería hacerlo simulando las condiciones a las que el circuito debería responder, y chequear si el elemento que actúa da la respuesta correcta.

- No perturbarlo

Desarmar cualquier cosa trae consigo la posibilidad de que se vuelva a armar de manera incorrecta, si es que es posible hacer esto (Moubray, 2004).

2.2.7.3. Conceptos Asociados al análisis de confiabilidad

El diseño de un programa eficiente de mantenimiento implica la comprensión de los fenómenos de falla de los equipos. Dado que las fallas en los equipos son eventos aleatorios, utilizaremos conceptos y modelos estadísticos que nos permitan controlar y mejorar la confiabilidad.

Las tareas de mantenimiento predictivo y preventivo están basadas sólo en el intervalo P-F. Para establecer los intervalos de búsqueda de falla, deben tomarse en cuenta la disponibilidad y confiabilidad (Moubray, 2004).

a) Tiempo medio entre fallas (MTBF) o confiabilidad

Este indicador permite medir la frecuencia entre fallas promedio transformándose en una medida de la confiabilidad de los equipos o dispositivos.

$$MTBF = \frac{\#Equipos \times Tiempo \text{ operativo}}{\#De \text{ fallas}}$$

b) Disponibilidad (A)

La disponibilidad de un equipo o activo se define como el porcentaje de tiempo en que está operativo, o disponible a funcionar en cualquier instante. Las unidades de medida pueden ser horas, días, etc.

$$A = \frac{\text{Tiempo de Operación} - \text{Tiempo de Parada}}{\text{Tiempo de Operación}}$$

2.2.7.4. Factibilidad técnica de búsqueda de falla

Para que una tarea de búsqueda de falla sea técnicamente factible, debe ser posible realizarla sin aumentar el riesgo de la falla múltiple, y debe ser práctico realizar la tarea en el intervalo requerido. La búsqueda de falla es técnicamente factible si:

- Es posible realizar la tarea.
- La tarea no incrementa el riesgo de una falla múltiple.
- Es práctico realizar la tarea al intervalo requerido.

El objetivo de una tarea de búsqueda de falla es reducir la probabilidad de la falla múltiple asociada con la función oculta a un nivel tolerable. Solo merece la pena realizarla si logra este objetivo.

Si se ve que una tarea de búsqueda de falla no es técnicamente factible o no merece la pena realizarla, hemos agotado todas las posibilidades que pueden permitirnos obtener la prestación deseada del activo. Esto nos condiciona a las consecuencias de la falla múltiple como sigue:

- Si no puede encontrarse una tarea de búsqueda de falla apropiada y la falla múltiple podría afectar la seguridad o el medio ambiente: algo debe cambiarse para que la situación sea segura. Entonces el rediseño es obligatorio.
- Si no puede encontrarse una tarea de búsqueda de falla y la falla múltiple no afecta la seguridad ni el medio ambiente: entonces es aceptable (Moubray, 2004).

2.2.7.5. Ningún mantenimiento programado

Sólo es válido si:

- No puede encontrarse una tarea cíclica apropiada para una función oculta, y la falla múltiple asociada no tiene consecuencias para la seguridad o el medio ambiente.
- No puede encontrarse una tarea proactiva que sea eficaz en cuanto a costos para fallas que tienen consecuencias operacionales o no operacionales (Moubray, 2004).

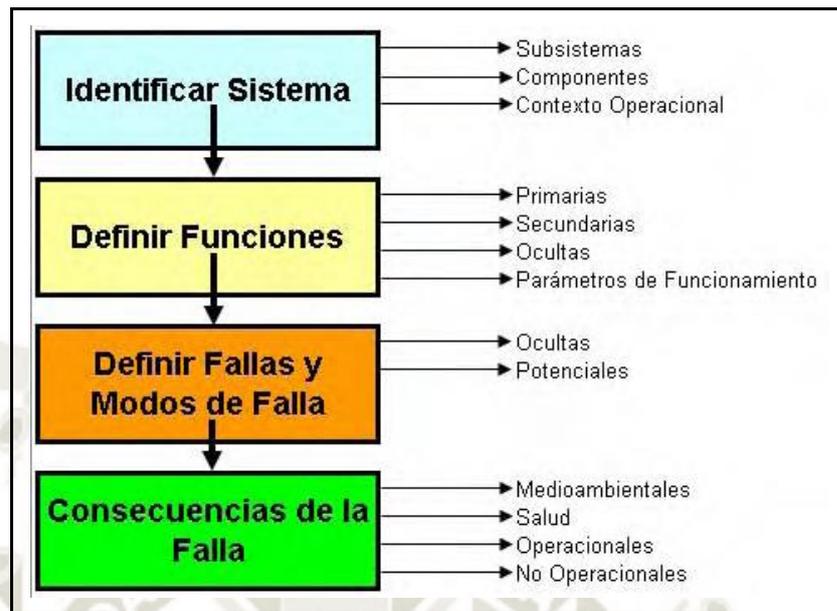
2.2.7.6. Rediseño

Se refiere a cualquier cambio en la especificación de cualquier componente de un equipo. Esto significa cualquier acción que implique un cambio en un plano o una lista de piezas. Incluye una modificación en la especificación de un componente, el agregado de un elemento nuevo, la sustitución de una máquina entera por una diferente, o el cambio de lugar de una máquina (Moubray, 2004).

2.2.8. Diagrama de Flujo del RCM

La Figura 5 ilustra la primera parte del proceso RCM, que consta de la identificación del sistema, la definición de funciones, las fallas y los modos de falla y la identificación de las consecuencias de las fallas. La toma de decisiones aplica un diagrama de decisión estructurado (Moubray, 2004).

Figura 5 Diagrama de Flujo RCM



Fuente: (Perez, 1997).

2.3. ANÁLISIS DE MODO Y EFECTOS DE FALLOS

El AMEF (análisis de modo y efectos de fallos) y el árbol lógico de decisión, constituyen las herramientas fundamentales que utiliza el RCM que responderán las siete preguntas básicas:

AMEF (Análisis de modo de fallas y efecto de fallos): herramienta que permite identificar los efectos o consecuencias de los modos de fallos de cada activo en su contexto operacional. A partir de esta técnica se logra:

- Asegurar que todos los modos de falla concebibles y sus efectos sean comprendidos.
- Identificar debilidades de diseño.
- Proveer alternativas en la etapa de diseño.
- Proveer criterios para prioridades de acciones correctivas.
- Proveer criterios para prioridades de acciones preventivas.
- Asistir en la identificación de fallas en sistemas con anomalías.

Pudiendo así responder las preguntas 1, 2, 3, 4 y 5 del RCM.

Existen muchas maneras de evaluar el AMEF en la siguiente Tabla 1 se observa un formato de realización (Moubray, 2004).

Tabla 1 Formato de AMEF.

HOJA DE INFORMACION RCM	ANALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA							
		Hoja de Informacion						
EQUIPO:		SISTEMA:		REALIZADO POR:		FECHA:		
CODIGO:		COMPONENTE:		REVISADO POR:		FECHA:		
FUNCION		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFECTO Y CONSECUENCIA DE FALLA		
1		A		1				
				2				

Fuente: Elaboración propia.

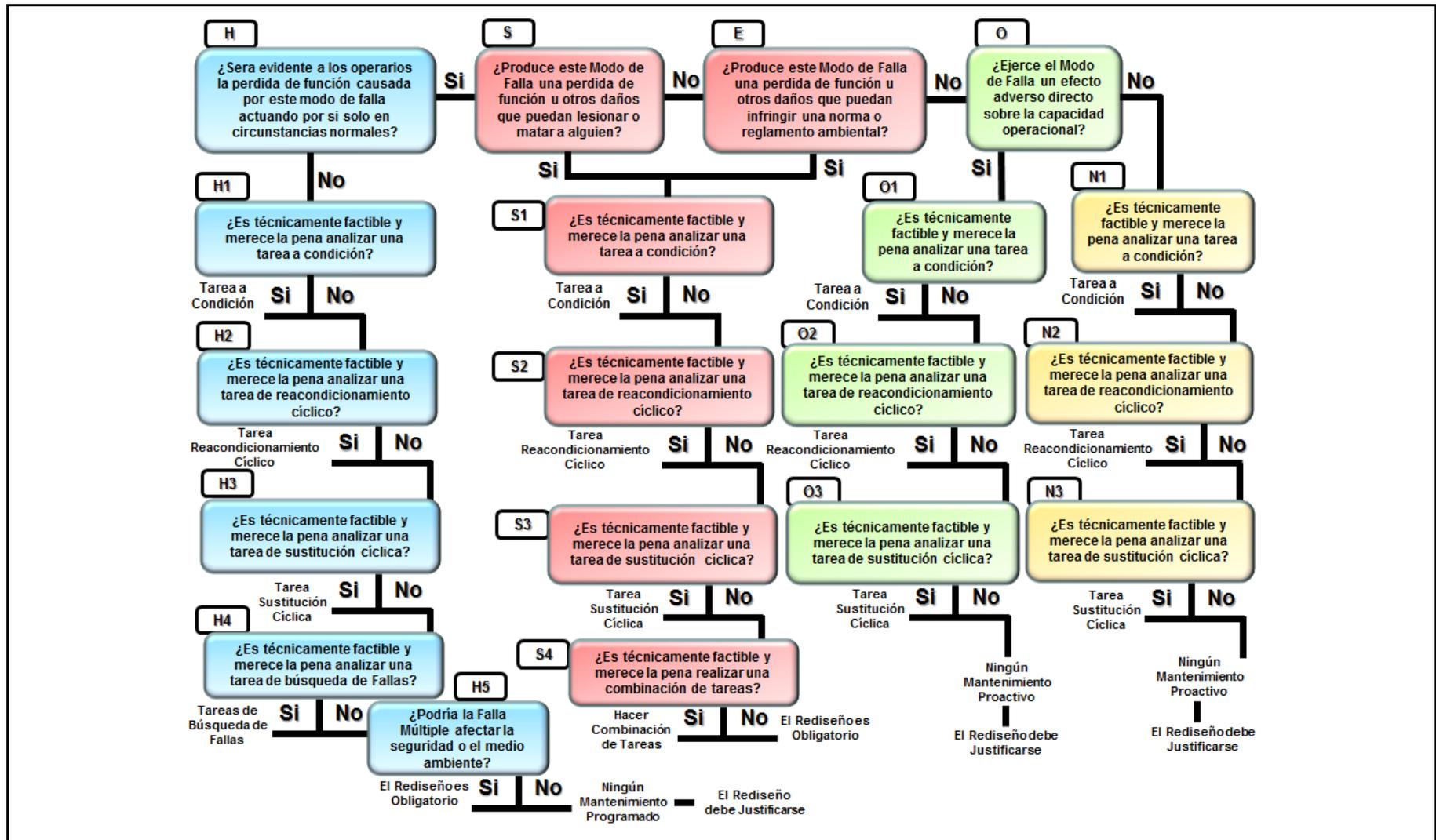
2.4. DIAGRAMA DE DECISIONES

2.4.1. Árbol Lógico de Decisiones

Herramienta que permite seleccionar de forma óptima las actividades de mantenimiento según la filosofía del RCM. A partir del árbol lógico de decisiones (Figura 6) se obtienen las respuestas para las preguntas 6 y 7 (Moubray, 2004).



Figura 6 Árbol de decisiones RCM



Fuente: (Moubray, 2004)

2.4.2. Hoja de decisión

Es en esta etapa del análisis en la cual finalmente se integran las consecuencias y las tareas, y es en esta etapa en la que podremos responder a las últimas 3 preguntas de la metodología del RCM:

- ¿Qué importa si falla?
- ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?
- ¿Qué debe hacerse en caso de no encontrar una tarea proactivamente?
- ¿Apropiada?

En la Tabla 2 se muestra la hoja de decisiones el cual es uno de los documentos centrales utilizados en la metodología (Moubray, 2004).

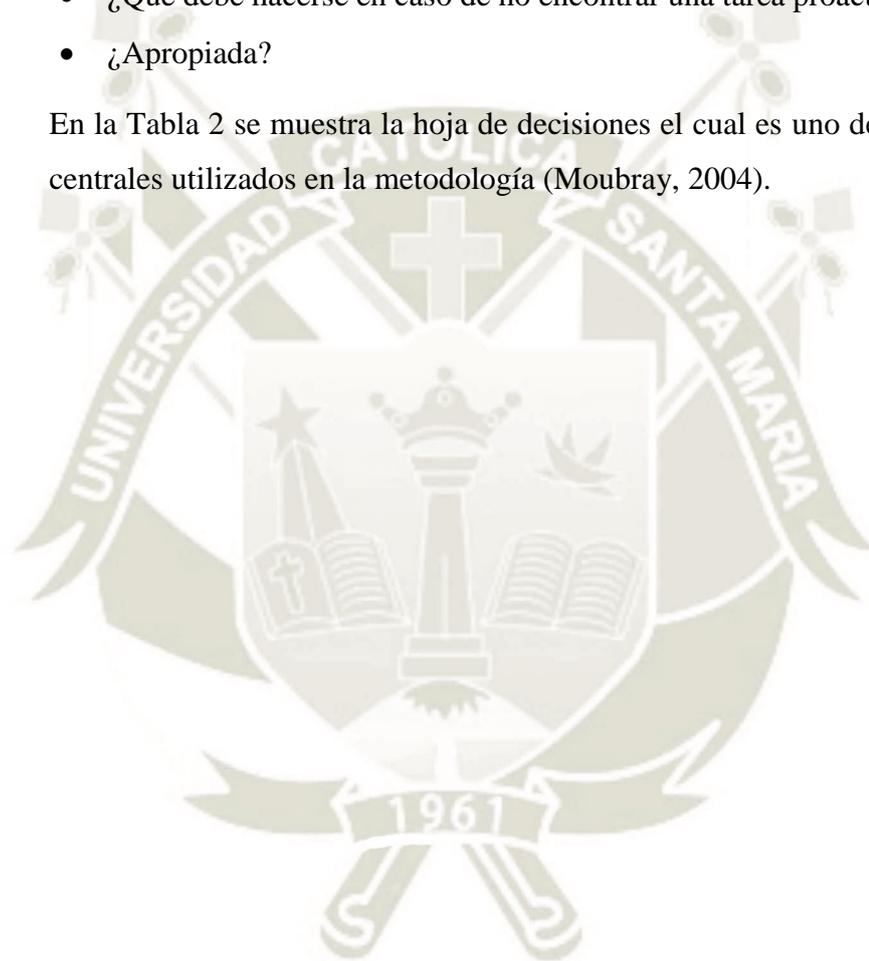


Tabla 2 Hoja de Decisión del RCM.

HOJA DE DECISIONES			SISTEMA:				REALIZADO POR:			FECHA:	HOJA				
			COMPONENTE:				REVISADO POR:			FECHA:					
REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE CONSECUENCIAS				H1	H2	H3	ACCIÓN A FALTA DE			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR:
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4			

Fuente: Elaboración Propia

El uso de la hoja de decisión permite asentar respuestas a las preguntas formuladas en el árbol de decisiones, y en función de dichas respuestas registrar:

- Que mantenimiento de rutina se va a efectuar, la frecuencia y el responsable de la ejecución; es en este punto en que empleando los datos de vida de los equipos al hallar sus factores característicos de la vida útil.
- Que fallas son tan serias que justifican el rediseño; estas tareas serán derivadas al personal de Ingeniería de Mantenimiento para su aprobación, ejecución y control.
- Decidir en la aplicación del Run-to fail (correr a la falla).

La hoja de decisión está dividida en 16 columnas. Las primeras tres columnas F, FF, y FM identifican el modo de falla que se analizan en esa línea. Se utilizan para correlacionar las referencias de las Hojas de información y las Hojas de decisión. Los encabezamientos de las siguientes diez columnas se refieren a las preguntas del árbol de decisiones (ver figura 29), de manera que:

Las columnas tituladas H, S, E, O y N son utilizadas para registrar las respuestas a las preguntas concernientes a las consecuencias de los modos de falla, colocando S o N (Sí o No según aplique)

Las tres columnas siguientes (tituladas H1, H2, H3, etc.) registran si ha sido seleccionada una tarea proactiva, y si es así, que tipo de tarea.

Si se hace necesario responder a cualquiera de las preguntas “a falta de”, las columnas H4, H5 y S4 son las que permiten registrar esas respuestas, colocando S o N (Sí o No según aplique)

Las últimas tres columnas registran la tarea que ha sido seleccionada (si la hay), la frecuencia en la que debe hacerse, y quién ha sido seleccionado para realizarla.

La columna de tarea propuesta también se utiliza para colocar actividades de “rediseño”, o si se decidió que el modo de fallo sea tratado Run-to fail (Moubray, 2004).

2.5. ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD

La confiabilidad se define como la probabilidad de que un bien funcione adecuadamente durante un período determinado bajo condiciones operativas

específicas (por ejemplo, condiciones de presión, temperatura, velocidad, tensión o forma de una onda eléctrica, nivel de vibraciones, etc.).

Se define la variable aleatoria T como la vida del bien o componente. Se supone que T tiene una función $F(t)$ de distribución acumulada expresada por:

$$F(t) = P(T \leq t)$$

Además, existe la función $f(t)$ de densidad de probabilidades expresada por la ecuación:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt}$$

La función de fiabilidad $R(t)$, también llamada función de supervivencia, se define como:

$$R(t) = P(t > t) = 1 - F(t)$$

En otras palabras, $R(t)$ es la probabilidad de que un componente nuevo sobreviva más del tiempo t . Por lo tanto, $F(t)$ es la probabilidad de que un componente nuevo no sobreviva más del tiempo t .

Por otra parte, la probabilidad de que un componente nuevo falle entre t y $t+s$ (s es un incremento de tiempo respecto a t) es igual a:

$$P\{t < T \leq t + s | T > t\} = \frac{P\{t < T \leq t + s\}}{P\{T > t\}} = \frac{F(t+s) - F(t)}{R(t)}$$

Dividiendo entre s y haciendo que s tienda a cero:

$$\lambda(t) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{s} \frac{F(t+s) - F(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{R(t)}$$

$\lambda(t)$ es la función de tasa de fallos o función de riesgo o tasa instantánea de fallos, y es una característica de fiabilidad del producto.

La función de tasa de fallas no tiene interpretación física directa, sin embargo, para valores suficientemente pequeños de t se puede definir como la probabilidad de fallo del componente en un tiempo infinitamente pequeño dt cuando en el instante t estaba operativo.

2.5.1. Evolución de la tasa de fallos a lo largo del tiempo. Curva de bañera

La duración de la vida de un equipo se puede dividir en tres periodos diferentes:

2.5.1.1. Juventud. Zona de mortandad infantil.

El fallo se produce inmediatamente o al cabo de muy poco tiempo de la puesta en funcionamiento, como consecuencia de:

- Errores de diseño
- Defectos de fabricación o montaje
- Ajuste difícil, que es preciso revisar en las condiciones reales de funcionamiento hasta dar con la puesta a punto deseada (Moubray, 2004).

2.5.1.2. Madurez. Periodo de vida útil.

Periodo de vida útil en el que se producen fallos de carácter aleatorio. Es el periodo de mayor duración, en el que se suelen estudiar los sistemas, ya que se supone que se reemplazan antes de que alcancen el periodo de envejecimiento (Moubray, 2004).

2.5.1.3. Envejecimiento

Corresponde al agotamiento, al cabo de un cierto tiempo, de algún elemento que se consume o deteriora constantemente durante el funcionamiento.

Estos tres periodos se distinguen con claridad en un gráfico en el que se represente la tasa de fallos del sistema frente al tiempo. Este gráfico se denomina “Curva de bañera”.

Aunque existen hasta seis tipos diferentes de curva de bañera, dependiendo del tipo de componente del que se trate, una curva de bañera convencional se adapta a la siguiente Figura 7 (Moubray, 2004):

Figura 7 Curva de la Bañera



Fuente: (Moubray, 2004).

En una curva de la bañera de tipo convencional se aprecian las tres zonas descritas anteriormente:

2.5.1.4. Zona I de mortandad infantil

Las averías van disminuyendo con el tiempo, hasta tomar un valor constante y llegar a la vida -útil. En esta zona fallan los componentes con defectos de fabricación, por lo que la tasa de averías disminuye con el tiempo. Los fabricantes, para evitar esta zona, someten a sus componentes a un "quemado" inicial ("burn-in" en inglés), desechando los componentes defectuosos. Este quemado inicial se realiza sometiendo a los componentes a determinadas condiciones extremas, que aceleran los mecanismos de fallo. Los componentes que pasan este periodo son los que nos venden los fabricantes, ya en la zona de vida útil (Moubray, 2004).

2.5.1.5. Zona II de vida útil, con tasa de fallos aproximadamente constante.

Es la zona de mayor duración, en la que se suelen estudiar los sistemas, ya que se supone que se reemplazan antes de que alcancen la zona de envejecimiento (Moubray, 2004).

2.5.1.6. Zona III de envejecimiento:

La que la tasa de averías vuelve a crecer, debido a que los componentes fallan por degradación de sus características por el transcurso de tiempo. Aún con reparaciones y mantenimiento, las tasas de fallos aumentan, hasta que resulta demasiado costoso el mantenimiento (Moubray, 2004).

2.5.2. Modelos matemáticos de distribución de probabilidad de fallos

2.5.2.1. Ley exponencial de fallos. Tasa de fallos constante.

La distribución exponencial juega un papel fundamental en la teoría y la práctica de la fiabilidad, porque describe con exactitud las características de fallo de muchos equipos en funcionamiento (Vicente Macián Martínez, 1999).

En el caso de que la tasa de fallos sea constante, su expresión es:

$$\lambda(t) = \lambda$$

La probabilidad de que una unidad que está trabajando falle en el próximo instante es independiente de cuánto tiempo ha estado trabajando. Esto implica que la unidad no presenta síntomas de envejecimiento. Es igualmente probable que falle en el instante siguiente, cuando está nueva o cuando no lo está (Vicente Macián Martínez, 1999).

En este caso, la función de fiabilidad correspondiente se puede escribir como:

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

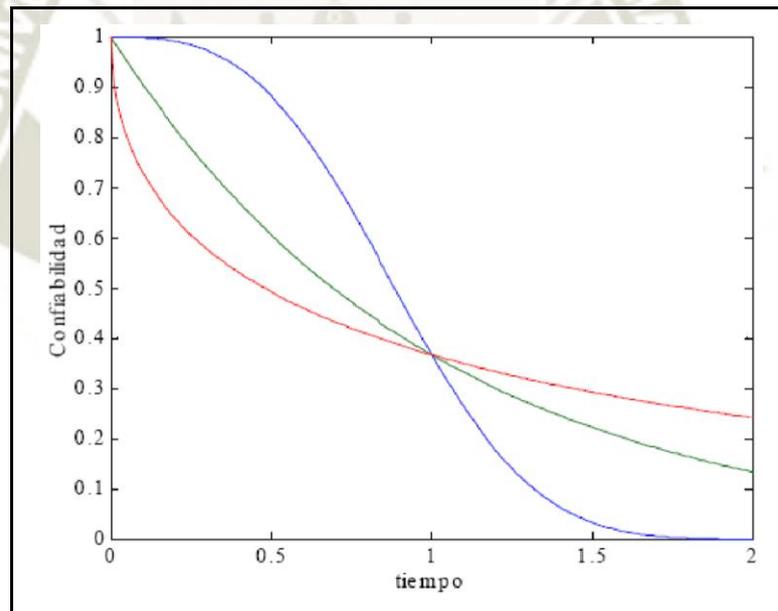
Por lo tanto, la función de distribución $F(t)$ se expresa:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$$

y la función de densidad $f(t)$:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

Figura 8 Curvas de Confiabilidad.



Fuente: Elaboración propia.

2.5.2.2. Ley Weibull. Tasas de fallos crecientes y decrecientes.

Una gran mayoría de los equipos reales no tienen una tasa de fallos constante, sino que es más probable que fallen a medida que envejecen. En este caso la tasa de fallos es creciente.

Por otra parte, también nos podemos encontrar con bienes que posean tasas de fallos decrecientes (Vicente Macián Martínez, 1999).

La función para tasas de fallos crecientes o decrecientes tienen la forma:

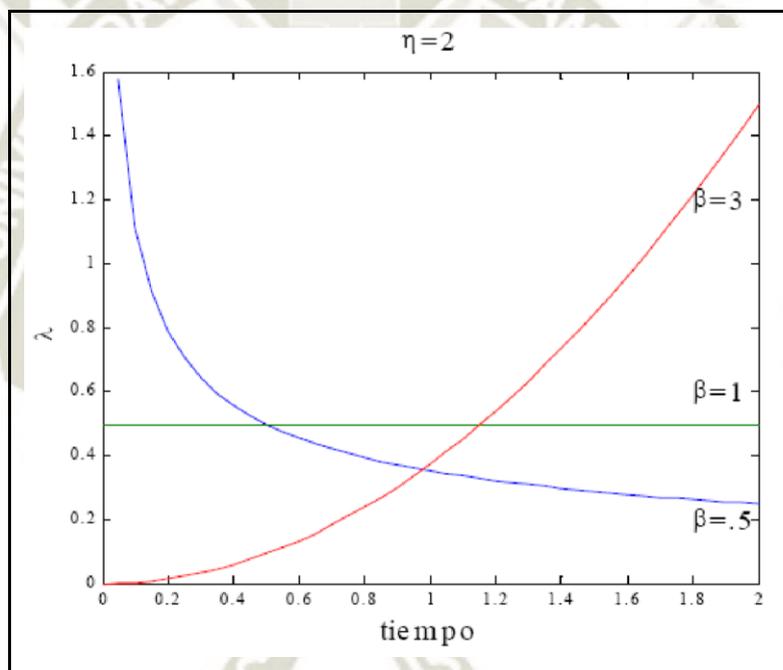
$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1}$$

En este caso, $\lambda(t)$ es una función polinomial en la variable t , que depende del parámetro β .

Cuando $\beta > 1$, $\lambda(t)$ es creciente.

Cuando $0 < \beta < 1$, $\lambda(t)$ es decreciente

Figura 9 Tasa de fallos según Weibull



Fuente: Elaboración propia.

Esta forma de $\lambda(t)$ da como resultado una expresión para la función de fiabilidad $R(t)$:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

es decir:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

Con frecuencia se cumple que las funciones empíricas de frecuencia de fallo se aproximan mucho a la descrita mediante la distribución de Weibull.

Cuando $\beta = 1$ la distribución de Weibull es igual a la exponencial.

Por otro lado, se calcula $F_{ex}(t)$, dependiendo del número de datos:

$$F(t) = \frac{i - 0.3}{N + 0.4} \text{ para } N < 20$$

$$F(t) = \frac{i}{N + 1} \text{ para } 20 < N < 50$$

$$F(t) = \frac{i}{N} \text{ para } N > 50$$

2.5.3. Disponibilidad

La disponibilidad es la probabilidad de un sistema de estar en funcionamiento o listo para funcionar en el momento o instante que es requerido.

Para poder disponer de un sistema en cualquier instante, éste no debe de tener fallos, o bien, en caso de haberlos sufrido, debe haber sido reparado en un tiempo menor que el máximo permitido para su mantenimiento.

Suponiendo que la tasa de fallos y la tasa de reparación son constantes

Tasa de fallos = λ

Tasa de reparación = μ

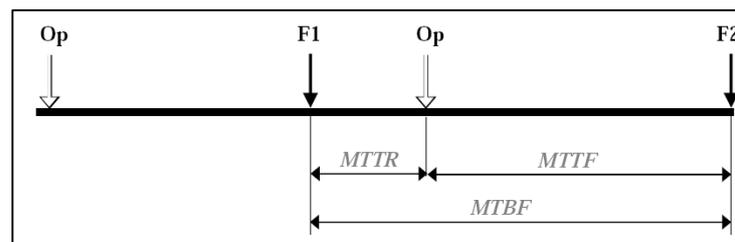
Entonces:

MTBF = $1 / \lambda$ (Tiempo medio entre fallos)

MTTR = $1 / \mu$ (Tiempo medio de reparación)

A (Availability): Disponibilidad del sistema

Figura 10 Ciclo de operación.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 10 se muestra un ciclo de operación, "Op" indica el instante en que el elemento, producto o sistema comienza a estar operativo. F1 y F2 muestran los instantes en que se producen los fallos 1 y 2 respectivamente.

Luego, de acuerdo lo indicado anteriormente podemos expresar la disponibilidad (A) así:

$$A = \frac{MTBF}{(MTBF + MTTR)} = \frac{\frac{1}{\lambda}}{\frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\mu}} = \frac{\mu}{\mu + \lambda}$$

Como se ve en la expresión anterior, se tendría una disponibilidad del 100% ante un fallo si el MTTR=0, es decir que no se tardase casi nada en reparar un fallo, lo cual no se cumple (sería ideal), pero se aspira a ello. Tanto la confiabilidad como la mantenibilidad estudiadas anteriormente, son determinantes de la disponibilidad.

La disponibilidad del producto durante un periodo de utilización prefijado, llamada calidad de funcionamiento, está en función de la confiabilidad y de la mantenibilidad del mismo.

Actualmente, es política común de los ingenieros de diseño, incluir en el diseño del producto innovaciones constantes que generen un aumento tanto de la confiabilidad como de la mantenibilidad, con la finalidad de generar ahorros para los futuros costes de Post-Venta (como en el servicio de mantenimiento), (Vicente Macián Martínez, 1999).

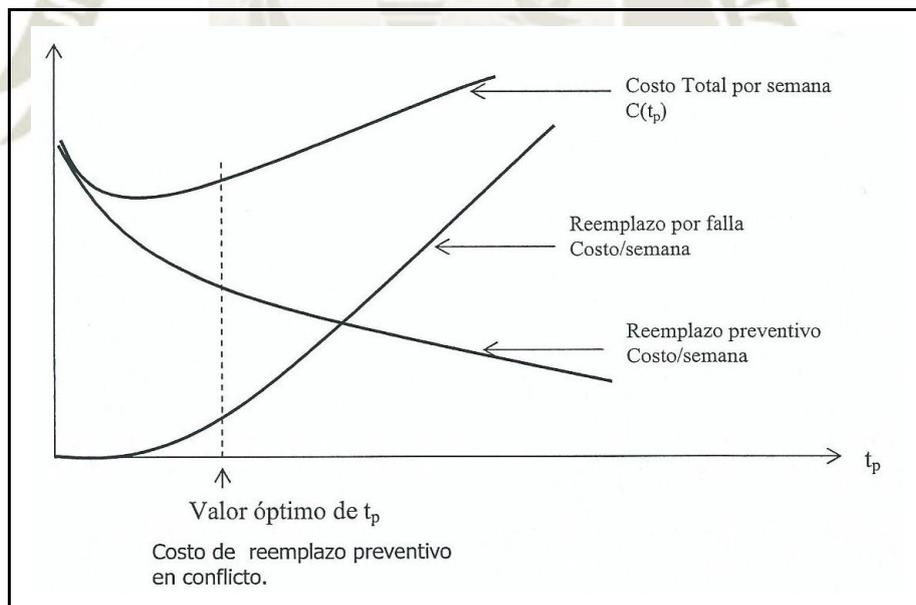
2.5.4. Tiempo óptimo de reemplazo para equipos cuyo costo operativo se incrementa con el uso

Algunos equipos operan con excelente eficiencia cuando son nuevo, pero con la edad su desempeño se deteriora. ¿En qué etapa de la tendencia de incremento de costo operativo es económicamente justificable reemplazar el componente, y así de esta forma reducir el costo operativo del equipo? En general, reemplazar el costo del dinero en términos de materiales y salarios, y un balance es requerido entre el dinero gastado en reemplazos y ahorros obtenidos por reducir los costos operativos. Así de este modo, nosotros podríamos determinar una política de reemplazo de componente óptimo la cual pueda minimizar la suma de los costos

operativos y de reemplazo por unidad de tiempo. Cuando tratamos con problemas de optimización, en general, nosotros quisiéramos optimizar algunas medidas de desempeño por un largo periodo. En muchas situaciones, es equivalente a la optimización de medida de desempeño por unidad de tiempo. Esta aproximación es fácil de tratar matemáticamente cuando se compara con el desarrollo de un modelo para optimizar la medida de desempeño en un horizonte de tiempo determinado.

Los costos en disputa y el problema de optimización asociado son ilustrados en la Figura 11. Debe subrayarse que esta clase de problema se puede denominar determinista de corto plazo ya que la magnitud de intervalos entre reemplazos es semanas o meses, en lugar de años. Si el intervalo entre reemplazos fuese medido en años, entonces el hecho de que los cambios de dinero en valor con el tiempo tendrían que ser tenidos en cuenta en el análisis. Tales problemas pueden ser denominados reemplazo de largo plazo (Vicente Macián Martínez, 1999).

Figura 11 Tiempo de reemplazo óptimo.



Fuente: (Jardine, 2018).

2.5.5. Análisis de Costo del Ciclo de Vida

Se utiliza, principalmente, para poder evaluar el impacto de la confiabilidad y la mantenibilidad en el costo de vida de los equipos, aplicando la metodología del LCCA.

El costo del ciclo de vida es la suma de todos los costos incurridos en la duración de vida de un equipo.

El término Costo del Ciclo de Vida apareció en 1965 en un documento titulado “Life Cycle Costing in Equipment Procurement” preparado por la “Logistics Management Institute” del departamento de Defensa de los Estados Unidos. La mantenibilidad es un factor importante en el costo del ciclo de vida de los activos.

El LCCA tiene el siguiente procedimiento:

- Determinar la vida útil del activo
- Estimar el valor terminal de los activos
- Determinar el costo del ciclo de vida añadiendo el costo de adquisición para el valor presente
- Repite todos los pasos anteriores para cada producto que sea considerado para adquisición
- Seleccionar el producto con el menor costo del ciclo de vida en balance con otras consideraciones
- Encontrar el valor presente de los valores resultantes
- Hacer una comparación del costo del ciclo de vida de todos los productos
- Reste el valor final, del costo de propiedad del elemento
- Estimar el costo de todos los ítems asociados incluyendo los costos de operación y mantenimiento

Algunos de los mayores beneficios del coste del ciclo de vida son:

- Es una herramienta útil para comparar proyectos y productos en competencia.
- Es una herramienta útil para tomar decisiones asociadas al reemplazo de los equipos.
- Es una herramienta útil para controlar los costos del programa.
- Es una herramienta útil para seleccionar entre los contratistas de la competencia.
- Es una herramienta útil para llevar a cabo el planeamiento y presupuesto.

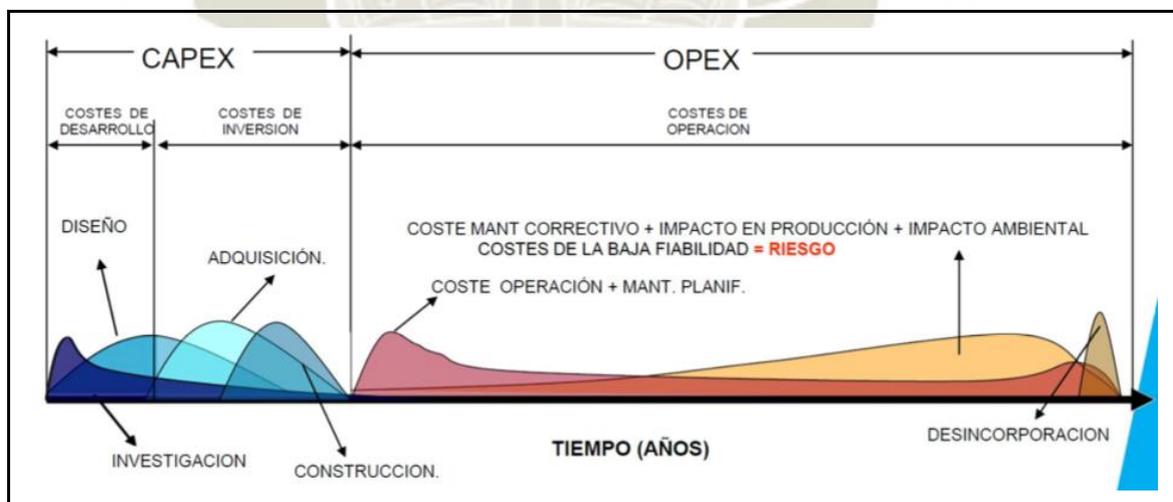
Algunas de las desventajas del análisis del costo de ciclo de vida son la demanda de tiempo y dinero, además de que es necesaria la recopilación de datos para su desarrollo.

La metodología LCCA puede definirse como un proceso sistemático de evaluación de distintos activos (o vías alternativas de acción) que considere de forma simultánea aspectos económicos y de fiabilidad, con el propósito de cuantificar el impacto de los costes a lo largo del ciclo de vida de los activos (\$/año), y de esta forma, poder seleccionar el activo que aporte los mayores beneficios al proceso de producción.

Los conceptos previos para aplicar la metodología del LCCA son:

- Características de los costos.
- Tasa de descuento que más se ajuste a la realidad
- Impacto de la tasa de descuento y el valor del dinero en el tiempo.
- Ciclo de vida útil esperado.
- Período de tiempo en el cual se tienen que estimar los costos (Vicente Macián Martínez, 1999).

Figura 12 Características de los costos.



Fuente: Tecsup, 2013

Las fórmulas para determinar los costos financieros son:

- Valor presente simple (P) de un valor futuro (F)

$$VP = \frac{1}{(1 + i)^t}$$

- Valor Presente (P) de un valor anualizado (A)

$$VPA = \frac{(1 + i)^t - 1}{i \times (1 + i)^t}$$

- Valor anualizado (A) de un valor presente (P)

$$PPA = \frac{i \times (1 + i)^t}{(1 + i)^t - 1}$$

La vida de un sistema (proceso, elemento, componente, equipo) es definida como el promedio de años en el cual se espera que el sistema funcione.

El número de años estimados en los cuales el sistema genera los menores costos (mayores ganancias) dentro del proceso productivo es de 10 a 20 años. Normalmente es menor que la vida útil (número de años esperado durante los cuales los sistemas cumplirán su función dentro de los estándares de diseño establecidos).

El período de tiempo en el cual se tienen que estimar los costos:

- Período de vida útil equivalente: Cuando se evalúan alternativas que tienen la misma expectativa de vida económica.
- Período de vida útil diferentes: Cuando se evalúan alternativas que tienen diferente expectativa de vida económica, es posible seleccionar un período de evaluación que sea múltiple de ambas expectativas, por ejemplo dos sistemas con 8 y 12 años de vida se pueden evaluar para un período de 24 años (Vicente Macián Martínez, 1999).

2.6. HERRAMIENTAS PARA EL TRATAMIENTO DE DATOS

2.6.1. Diagramas de Priorización

En un ambiente de escasez de recursos (humanos, materiales, tiempo, etc.), la priorización es un tema clave para enfrentar los desafíos existentes en la administración de activos físicos.

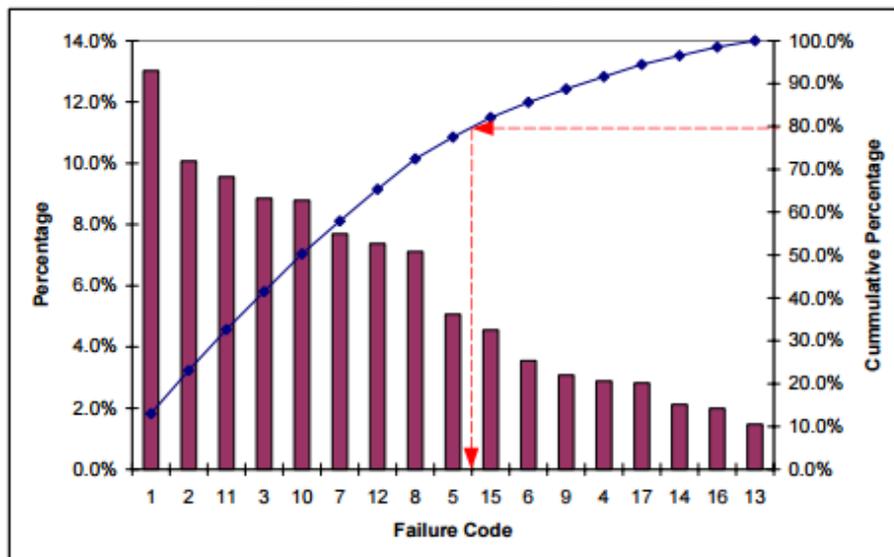
El diagrama de Pareto es una herramienta estándar para tal efecto, pero en general dan información en dos dimensiones y no son capaces de discernir que factor (frecuencia: λ , duración: TFS) es dominante.

Tabla 3 Ejemplo de construcción de Pareto de fallas eléctricas.

Code	Description	Quantity	Duration (min)	% Time	% Cum.
1	Electrical inspections	30	1015	13.0	13.0
2	Damaged feeder cable	15	785	10.1	23.1
11	Motor over temperature	36	745	9.6	32.6
3	Change of substation or shovel move	27	690	8.8	41.5
10	Overload relay	23	685	8.8	50.3
7	Auxiliary motors	13	600	7.7	58.0
12	Earth faults	7	575	7.4	65.3
8	Main motors	12	555	7.1	72.5
5	Power cuts to substations	21	395	5.1	77.5
15	Air compressor	8	355	4.6	82.1
6	Rope limit protection	10	277	3.6	85.6
9	Lighting system	26	240	3.1	88.7
4	Coupling repairs or checks	15	225	2.9	91.6
17	Over current faults	6	220	2.8	94.4
14	Control system	7	165	2.1	96.5
16	Operator controls	5	155	2.0	98.5
13	Miscellaneous	9	115	1.5	100
	TOTAL	270	7797	100	

Fuente: Peter F. Knights, Universidad Católica de Chile, 2014

Figura 13 Ejemplo de un Diagrama de Pareto referente de tabla 1.



Fuente: Peter F. Knights, Universidad Católica de Chile, 2014

Clasificación de acuerdo con Pareto:

- Clasificación A: equipamiento que pertenece al grupo responsable por el 80% del total de las fallas.
- Clasificación B: equipamiento que pertenece al grupo responsable por el 15% del total de las fallas.
- Clasificación C: equipamiento que pertenece al grupo correspondiente al 5% del total de las fallas.

La figura 15 muestra un medio alternativo para presentar un historial de fallas.

Si se prioriza con la regla de Pareto (80 %-20%) entonces los modos de falla: 1, 2, 11, 3, 10, 7, 12, 8 y 5 deben ser analizados en primer lugar.

Puede haber modos de falla donde mantenimiento no tenga injerencia (o muy poca).

2.6.2. Diagramas de Dispersión

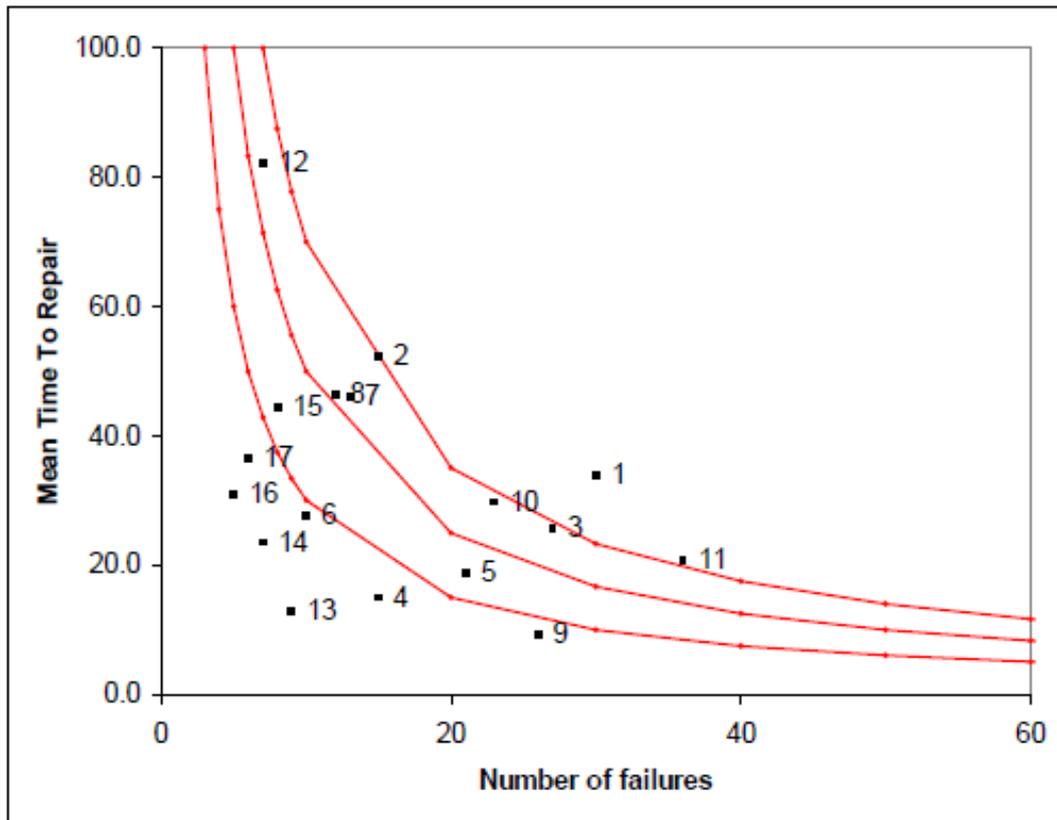
El tiempo de inactividad del equipo puede ser representado por la siguiente ecuación:

$$Downtime_i = n_i \times MTTR_i$$

Donde “Downtime” es el tiempo de inactividad asociado con el código de falla i ; n y $MTTR$ representan el número de fallas, y el servicio de tiempo medio para restaurar respectivamente.

La figura 16 muestra un medio alternativo de presentar los datos de fallo enumerados en la Tabla 1. Un diagrama de dispersión se utiliza para representar el tiempo de inactividad medio contra el número de fallos no planificados para cada código de falla. Las curvas de tiempo de inactividad constante están representadas por una familia de hipérbolas como se muestra. Se puede observar que los fallos que consumen más tiempo de inactividad son los asociados con los códigos de falla 1, 2 y 11. Así, el orden de prioridad, que se observa en el análisis de Pareto, se conserva; sin embargo, una imagen más clara está disponible en cuanto a que el factor - Frecuencia de falla o $MTTR$ - es dominante.

Figura 14 Diagrama de Dispersión de MTTR vs Número de fallas.



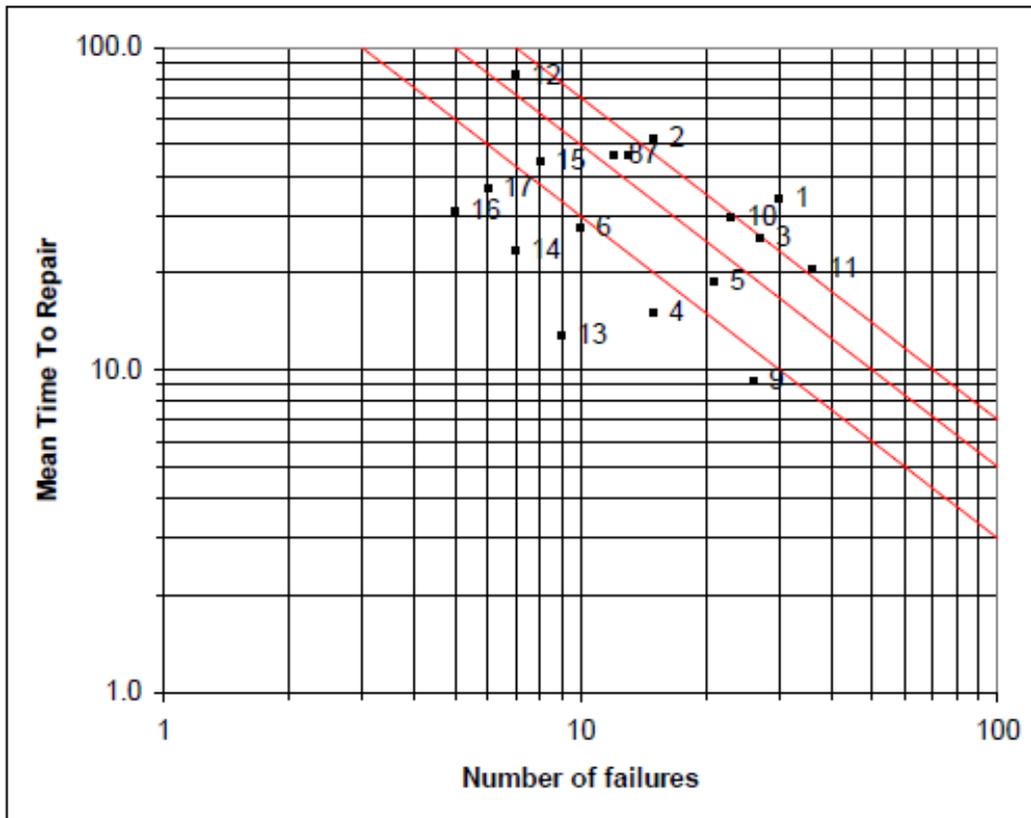
Fuente: Peter F. Knights, Universidad Católica de Chile, 2014

Una desventaja en la Figura 14 es que las curvas de tiempo de inactividad constante son hipérbolas y puede ser difícil de trazar. Una solución a esto es tomar el logaritmo de la ecuación anterior. Por lo tanto:

$$\log Downtime_i = \log n_i \times \log MTTR_i$$

Si realizamos un gráfico de $\log(n_i)$ vs $\log(MTTR_i)$, las curvas de tiempo de inactividad constante ahora aparecen como líneas rectas con pendiente negativa uniforme (véase la Figura 15). Diagramas de dispersión simplifican la identificación de esas fallas que más contribuyen al tiempo de inactividad del equipo, sin dejar de visualizar la influencia de la frecuencia de fallas y MTTR.

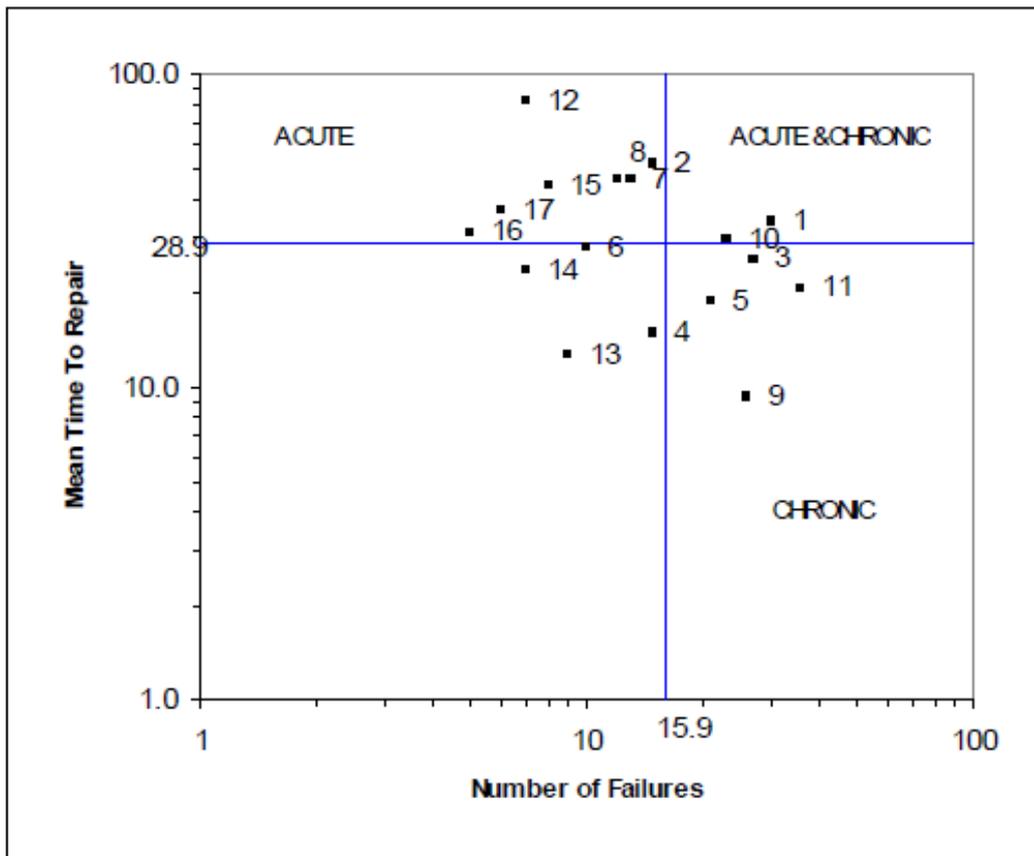
Figura 15 Logaritmo del Diagrama de Dispersión de MTTR vs Número de fallas.



Fuente: Peter F. Knights, Universidad Católica de Chile, 2014

Las reparaciones que requieren largo tiempo de inactividad pueden ser consideradas problemas agudos. Las fallas que vuelven a ocurrir con frecuencia (es decir, alta n) puede considerarse problemas crónicos. Mediante la determinación de límites de umbral, el diagrama de dispersión de registro se puede dividir en cuatro cuadrantes, como se muestra en la Figura 16. Los cuadrantes superiores denotan fallas agudas, mientras que los cuadrantes del lado derecho denotan fallas crónicas. El cuadrante superior derecho es una región de fallas agudas y crónicas.

Figura 16 Límites del Diagrama de Dispersión de MTTR vs Número de fallas.



Fuente: Peter F. Knights, Universidad Católica de Chile, 2014

Los límites de umbrales bien pueden ser valores absolutos determinados por políticas de la empresa, o valores relativos que dependen de las magnitudes y cantidad de los datos relativos. Un enfoque para determinar valores relativos es utilizar valores promedio de la siguiente manera:

El tiempo de inactividad total, D , consumido por las fallas imprevistas viene dada por:

$$D = \sum_i Downtime_i$$

El número total de fallas es:

$$N = \sum_i n_i$$

Q es el número de los distintos códigos de falla utilizados para categorizar los datos de tiempo de inactividad, el umbral límite para fallos agudos se puede definir como:

$$\lim t_{MTTR} = \frac{D}{N}$$

Y el umbral límite para fallas crónicas puede ser determinado por:

$$\lim t_n = \frac{N}{Q}$$

En el caso anterior de las fallas eléctricas no planificadas; D=7797 min, N=270 y Q=17. Entonces el valor límite para fallas agudas es $7797/270=28.9$ min, y el valor límite para fallas crónicas es $270/17=15.9$ reparaciones.

2.6.2.1. Diagramas de Dispersión de Costos

El diagrama de dispersión anteriormente visto sólo considera tiempos y frecuencias con lo que no analiza el impacto económico de tener un equipo fuera de servicio.

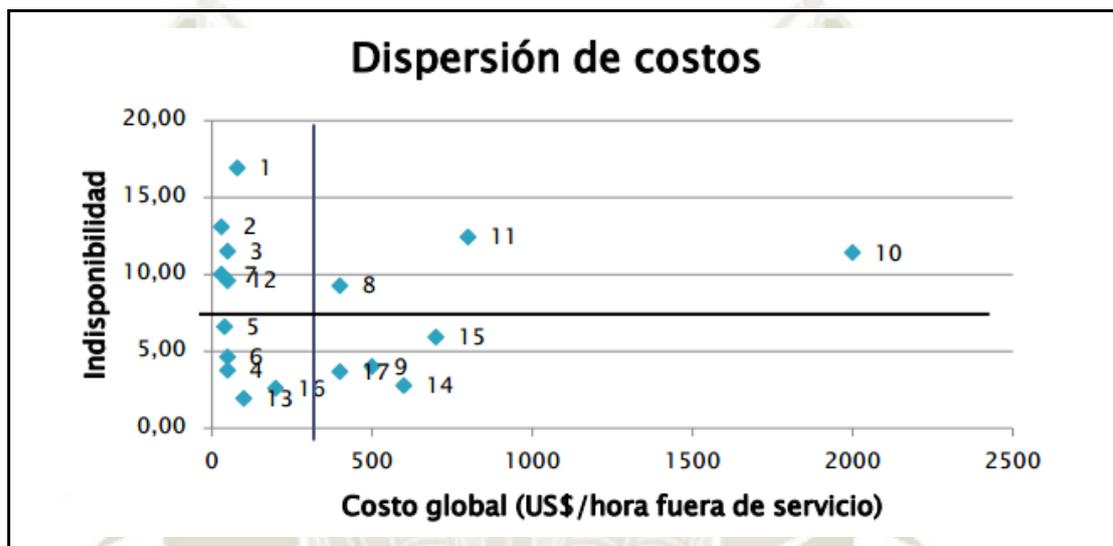
Tabla 4 Costos de los códigos de falla de la tabla 1

	Costo Global (US\$-hora TFS)	TFS (horas/mes)
1	80	16,92
2	30	13,08
3	50	11,50
4	50	3,75
5	40	6,58
6	50	4,62
7	30	10,00
8	400	9,25
9	500	4,00
10	2000	11,42
11	800	12,42
12	50	9,58
13	100	1,92
14	600	2,75
15	700	5,92
16	200	2,58
17	400	3,67
	357,65	7,644

Fuente: Peter F. Knights, Universidad Católica de Chile, 2014

De esta Tabla 4 se estima que las intervenciones más críticas para el negocio tienen códigos: 8, 10, 11 (ver Figura 17). Esta información puede ser añadida al diagrama de dispersión standard para estudiar el efecto del costo global en la selección de componentes más críticos: vemos como los códigos 1 y 3 si bien son importantes para la disponibilidad del componente, no lo son tanto para el negocio, con lo cual su análisis puede ser postergado frente a componentes como el 8 que si lo es.

Figura 17 Diagrama de Dispersión de Costos.



Fuente: Peter F. Knights, Universidad Católica de Chile, 2014

Los diagramas Número de fallas vs MTTR resuelven varias de las limitantes de un análisis de Pareto clásico para la priorización de análisis de modos de falla. Los resultados respetan los resultados obtenidos con Pareto, pero además entregan información muy interesante respecto de la frecuencia de las fallas y la duración de su reparación. Los gráficos permiten la identificación de problemas de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad.

Se divide los diagramas en 4 cuadrantes, sin esquemas tipo Pareto. En el cuadrante con Número de fallas (N) alto y MTTR bajo se propone que las tareas sean hechas por operadores (estrategia TPM). En el cuadrante de N bajo y alto MTTR se propone usar monitoreo en línea. Aquellos modos de falla o equipos con bajo N y MTTR bajo son buenos candidatos para mantenimiento correctivo. El peor de los casos es N alto y MTTR alto (agudo crónico); se trata de enfermos crónicos y

terminales. Son buenos candidatos para realizar mantenimiento proactivo con posible rediseño/reemplazo.

2.7. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DEL ÁREA DE CHANCADO PRIMARIO

El circuito de Chancado Primario tiene como objetivo reducir el tamaño del mineral proveniente de la mina (Mineral ROM), el cual es transportado al chancador giratorio FLSmidth de 60" x 113", de una capacidad de tratamiento de 4167 a 7500 tph, siendo la descarga de aproximadamente 7 pulgadas.

El producto obtenido será transportado a través de una faja tipo overland, hasta la planta concentradora.

El mineral es chancado y reducido para obtener un tamaño óptimo para la etapa de molienda primaria (molino SAG).

En la Figura 18 se muestra un diagrama de bloques del circuito de Chancado Primario.

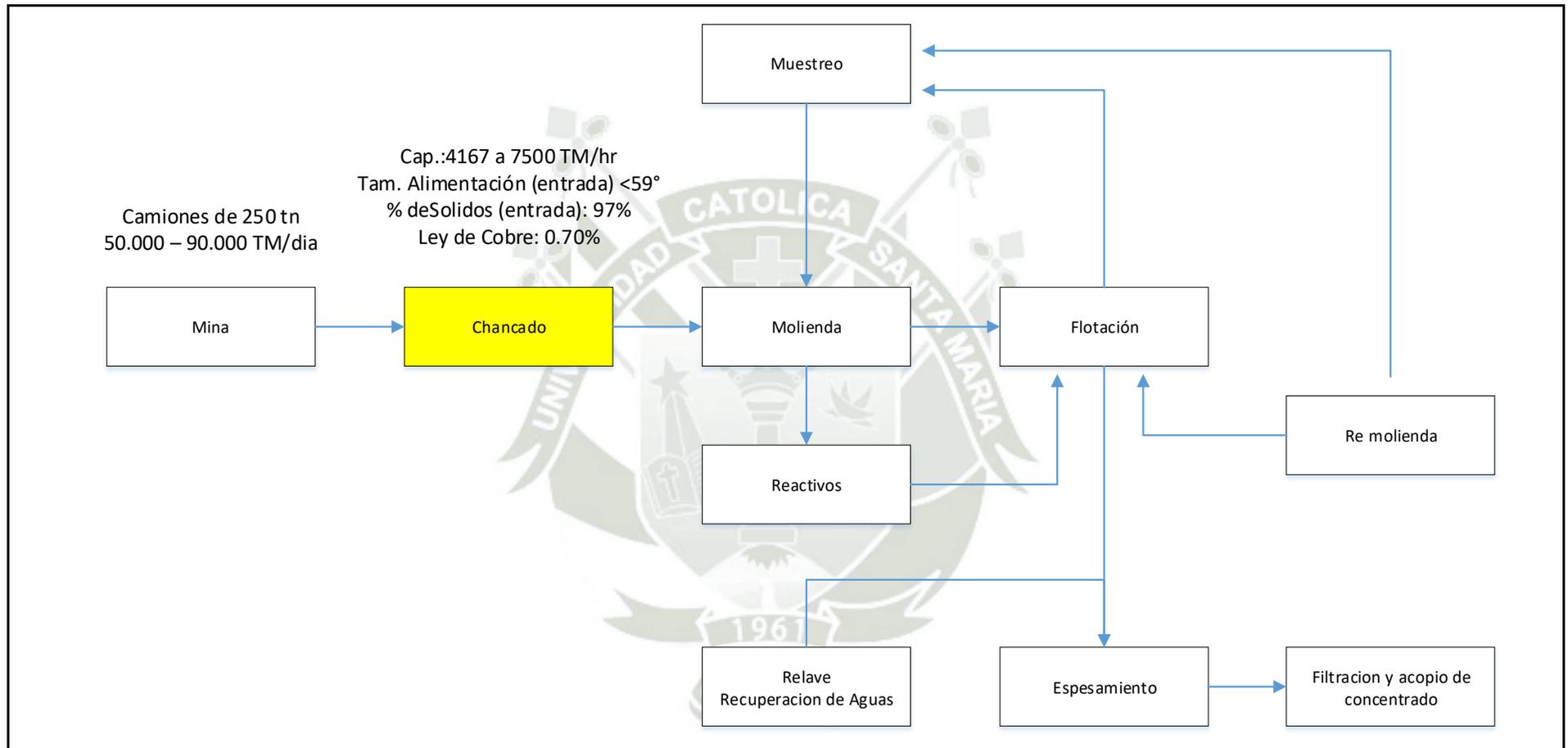
Figura 18 Diagrama de bloques del circuito de Chancado Primario.



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 19, se indica la ubicación del circuito de chancado primario con respecto a los otros circuitos en el proceso de concentración de Cobre.

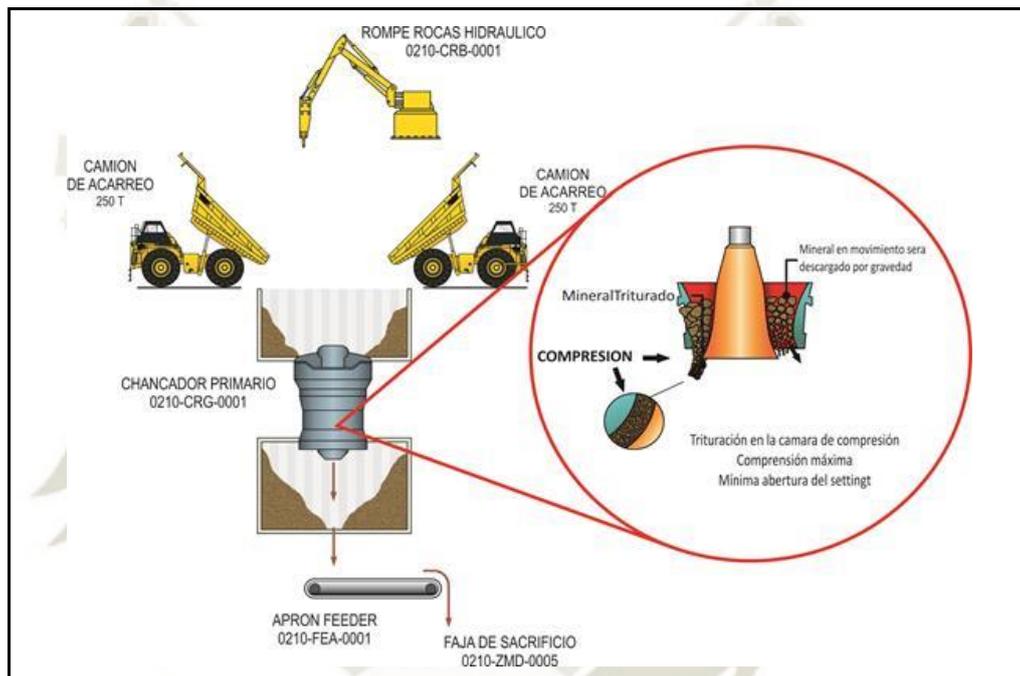
Figura 19 Diagrama de ubicación del circuito de Chancado Primario



Fuente: Elaboración propia.

El Chancado Primario es la primera etapa de la operación de la planta concentradora; sin embargo, es la segunda etapa en la reducción de tamaño, posterior al minado. La operación de chancado consiste en la reducción de tamaño de rocas grandes a más pequeñas, utilizando fuerzas de compresión, fricción, flexión, cizallamiento u otras en menor proporción, que permiten reducir el mineral que viene de mina y termina con la entrega de un producto menor a 7 pulgadas. En la Figura 20 se ilustra un diagrama de flujo general del proceso de Chancado Primario.

Figura 20 Diagrama de flujo general de Chancado Primario



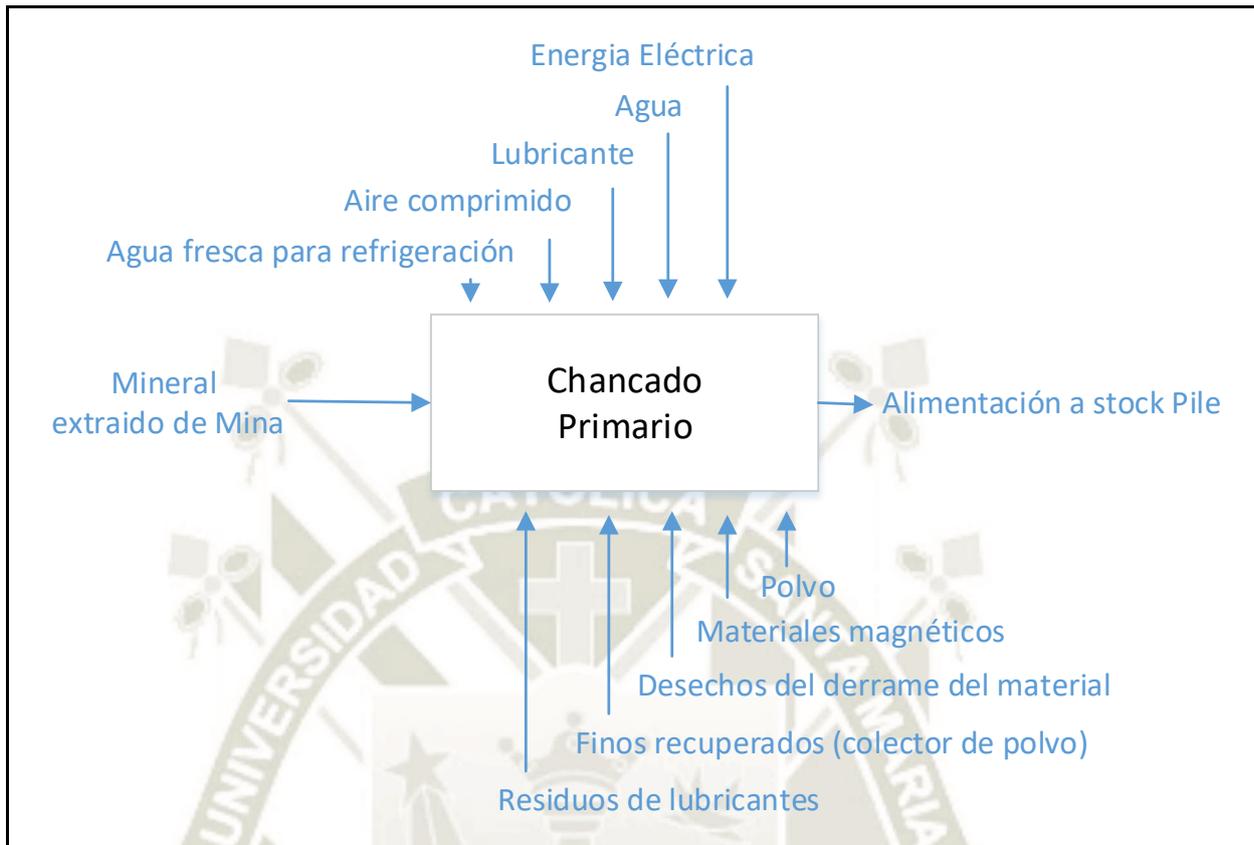
Fuente: Elaboración propia

Esta fuerza de compresión hace que las partículas se fracturen y descendan por la cámara siendo sometidas, a través de su paso, a nuevas sollicitaciones que originan nuevas fracturas hasta salir finalmente por la descarga.

Las trituradoras giratorias, son aparatos que reducen de tamaño durante el 100% de su tiempo de operación, pero solo una fracción de su cavidad triturante realiza la fragmentación deseada.

El Circuito de Chancado Primario usa como flujos auxiliares de ingreso: Energía eléctrica, aire comprimido, agua fresca para refrigeración, y lubricantes y se desecha residuos de lubricantes, desechos metálicos, polvo entre otros.

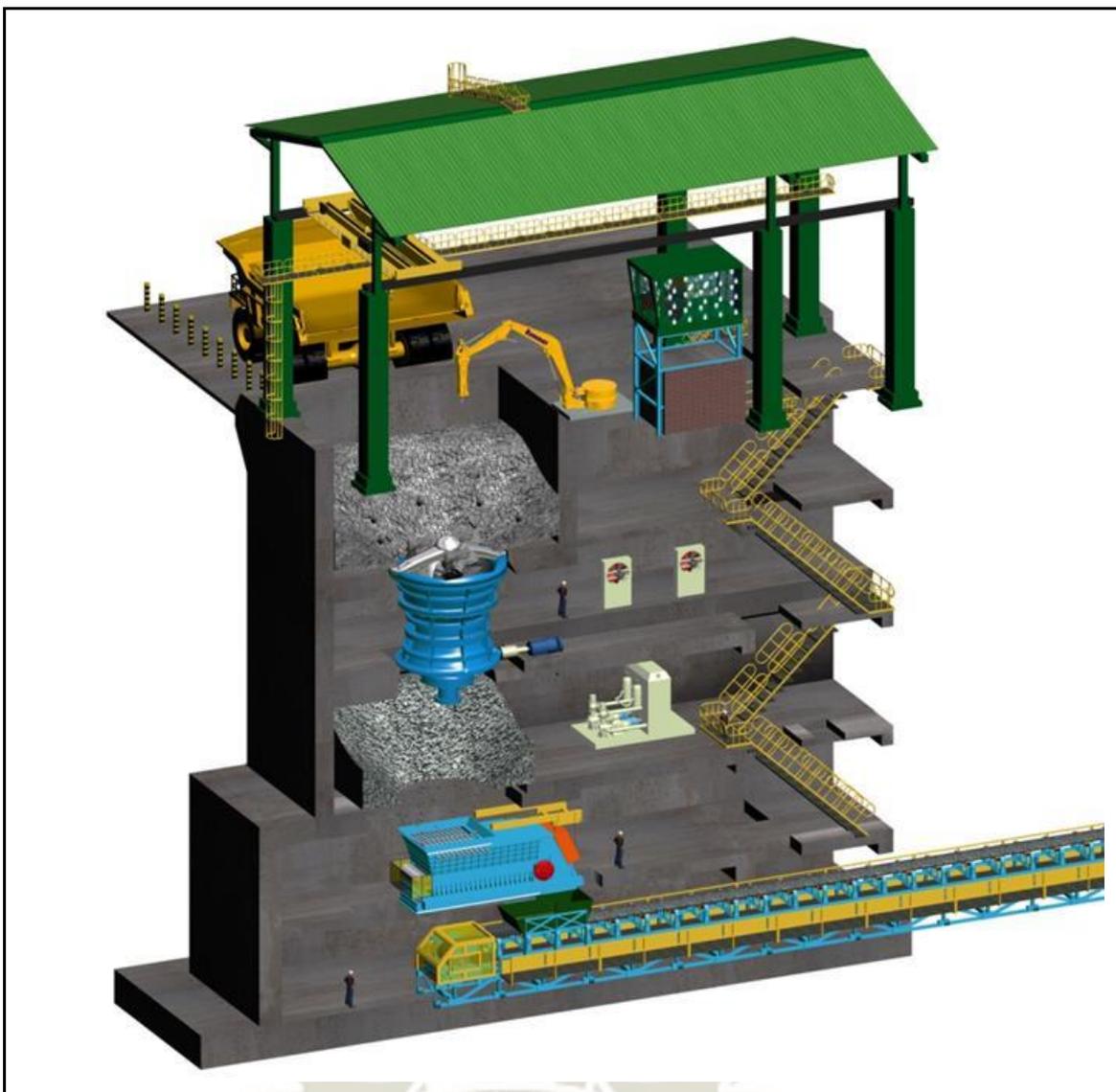
Figura 21 Diagrama de bloques de ingresos y salidas del circuito de Chancado Primario.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 21, se detalla la secuencia del proceso del edificio de la chancadora primaria, desde la descarga de los camiones hasta el inicio de transporte de material de la faja de sacrificio.

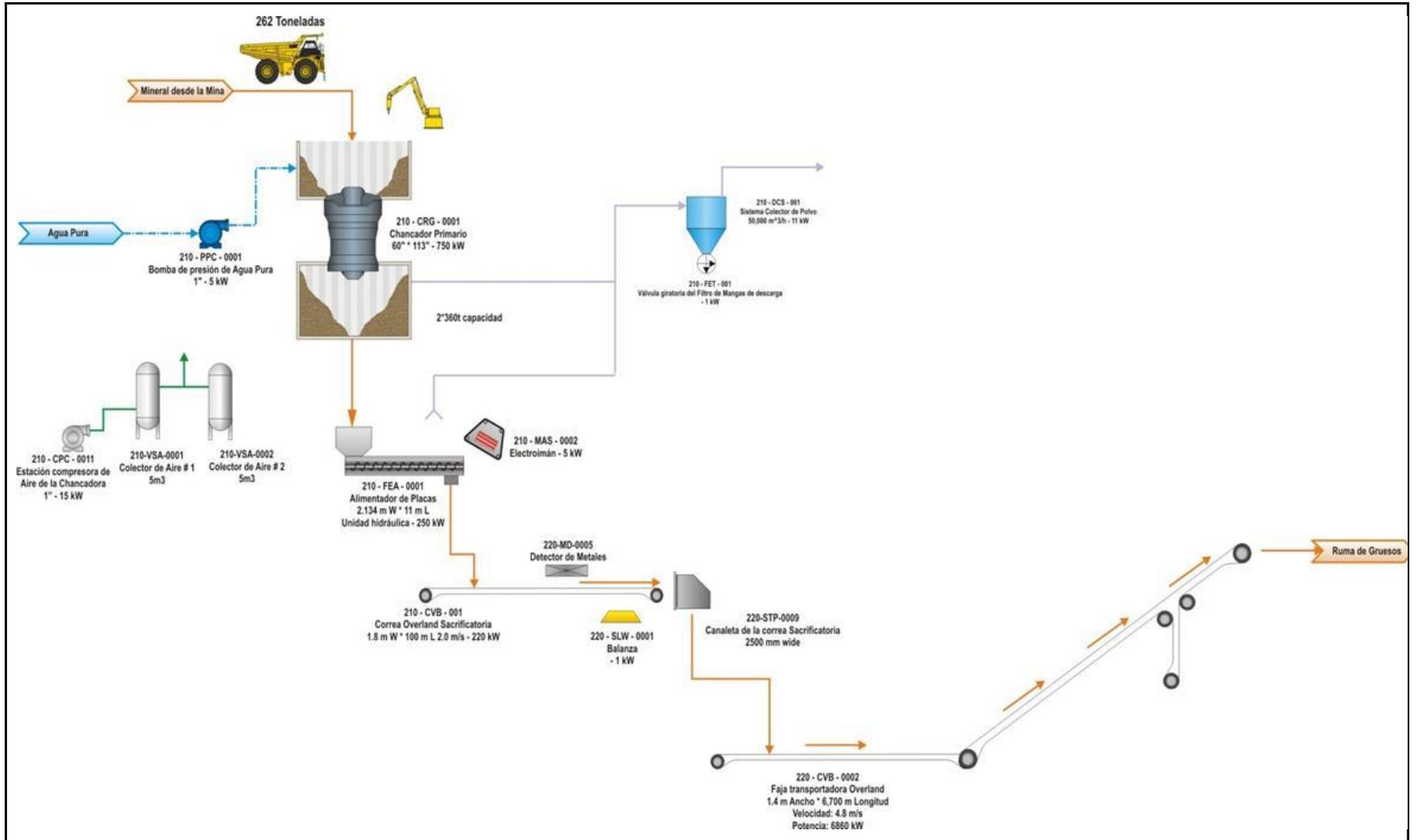
Figura 22 Corte en 3D del Circuito de Chancado Primario.



Fuente: Elaboración propia

En las Figura 23, se detalla la secuencia del proceso en un diagrama de flujo de toda el área de chancado primario.

Figura 23 Diagrama de Flujo del Circuito de Chancado Primario.



Fuente: Elaboración propia

2.8. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS DEL ÁREA DE CHANCADO PRIMARIO

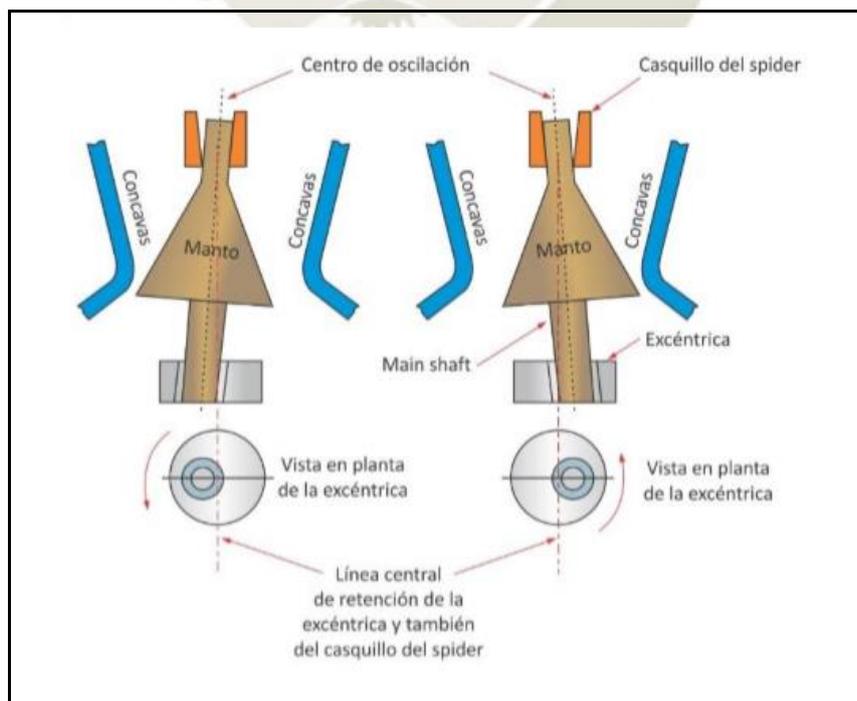
El circuito de chancado primario cuenta con los siguientes equipos:

- Chancadora primaria (CR-001).
- Alimentador de placas (FE-001).
- Faja transportadora de sacrificio (CV-001).
- Faja transportadora Overland (CV-002).
- Electroimán (MA-002).
- Detector de metales (ZM-005).
- Balanza en faja transportadora (SL-001).

2.8.1. Chancadora Primaria (CR-001)

La chancadora giratoria cónica vertical tipo NT (60'' x 113'') es un equipo electromecánico hidráulico estacionario utilizado para disminuir el mineral ROM (Run of mine) provenientes de mina que vienen con una granulometría máxima de 1,200mm. La designación 60'' o 1,525 mm está referida a la abertura de alimentación y la designación 113'' o 2,870mm se refiere al diámetro máximo en el fondo del manto. El equipo cuenta con una estación de lubricación, de engrase y de sello de polvo (Torres Raymundo, 2017).

Figura 24 Principio de funcionamiento de la chancadora



Fuente: Manual FLSmidth, 2015

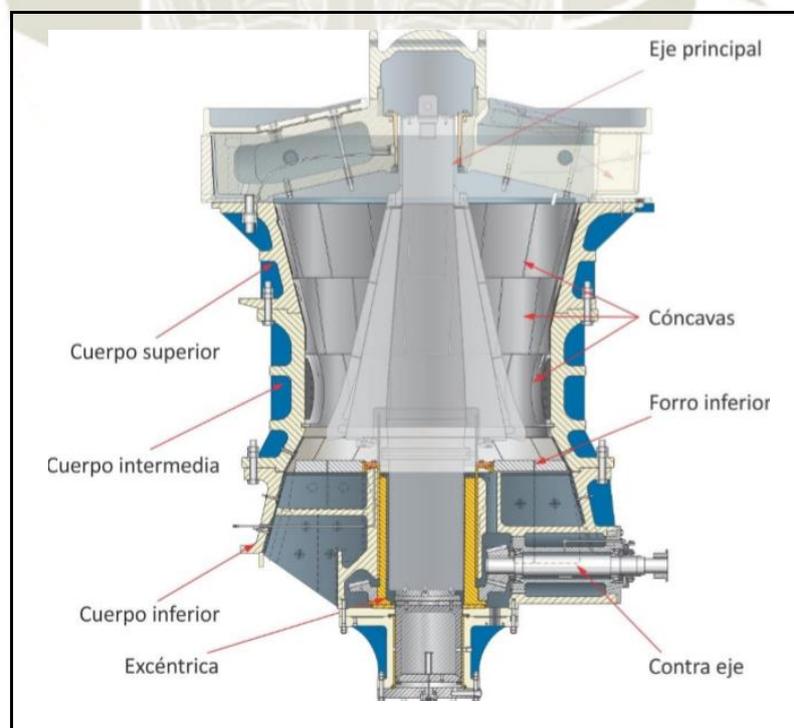
La disminución del tamaño del mineral, producido por la chancadora primaria, se debe al movimiento excéntrico realizado por el eje principal dentro de la cámara de chancado. Cuando la chancadora es alimentada con mineral ROM, el eje principal se acerca y aleja secuencialmente de las paredes de la cámara de chancado, conforme la carga se acerca a los cóncavos (paredes de la cámara de chancado), el mineral queda atrapado entre éstos y el manto y los pedazos de mineral se rompen, a medida que la carga se aleja de los cóncavos, el mineral triturado cae en la abertura hacia la tolva de compensación, el movimiento del eje principal se muestra en la Figura 24. (Torres Raymundo, 2017).

Las principales partes de la chancadora primaria son:

a) Cuerpo

Consiste de tres estructuras de acero fundido que contienen: la estructura inferior, el mecanismo de accionamiento y la excéntrica, mientras que en la estructura intermedia y superior forman una cámara estacionaria que está revestida con pedazos de acero resistentes al desgaste llamados cóncavos, como se ve en la Figura 25 (Torres Raymundo, 2017).

Figura 25 Cuerpo – Parte de la chancadora primaria

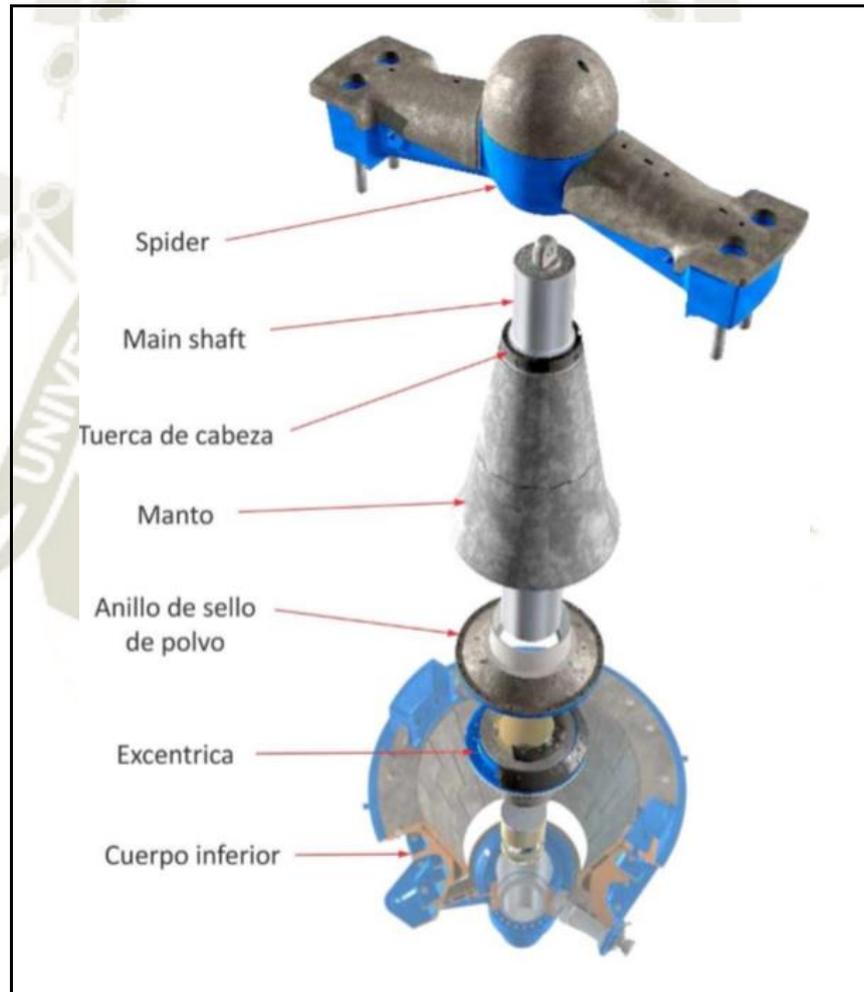


Fuente: Manual FLSmidth, 2015

b) Eje Principal

Se aloja en la parte inferior con la excéntrica y en la parte superior con el spider. El eje principal está equipado con un núcleo y un manto, que conforman la parte móvil fundamental para realizar la trituración del mineral con un movimiento oscilatorio realizado por la excéntrica, como se ve en la Figura 26 (Torres Raymundo, 2017).

Figura 26 Eje principal – Parte de la chancadora primaria

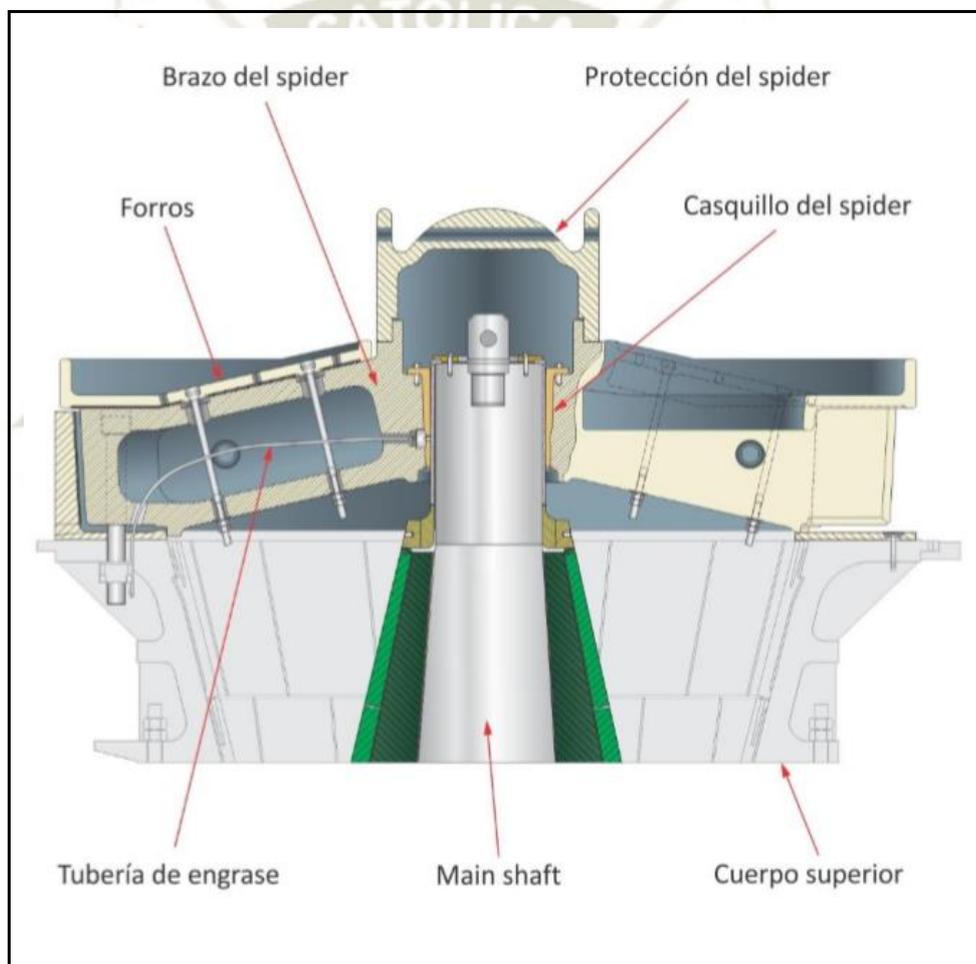


Fuente: Manual FLSmidth, 2015

c) Spider

Es una estructura de acero fundido compuesta de dos brazos que sostienen a un cubo en la parte central superior, este cono sostiene al eje principal por medio de un casquillo o buje que cumple la función de soportar las fuerzas axiales y radiales generadas en el eje principal en la trituración. Los brazos llevan tuberías de lubricación por grasa para el buen funcionamiento del casquillo o buje, como se ve en la Figura 27 (Torres Raymundo, 2017).

Figura 27 Spider – Parte de la chancadora primaria

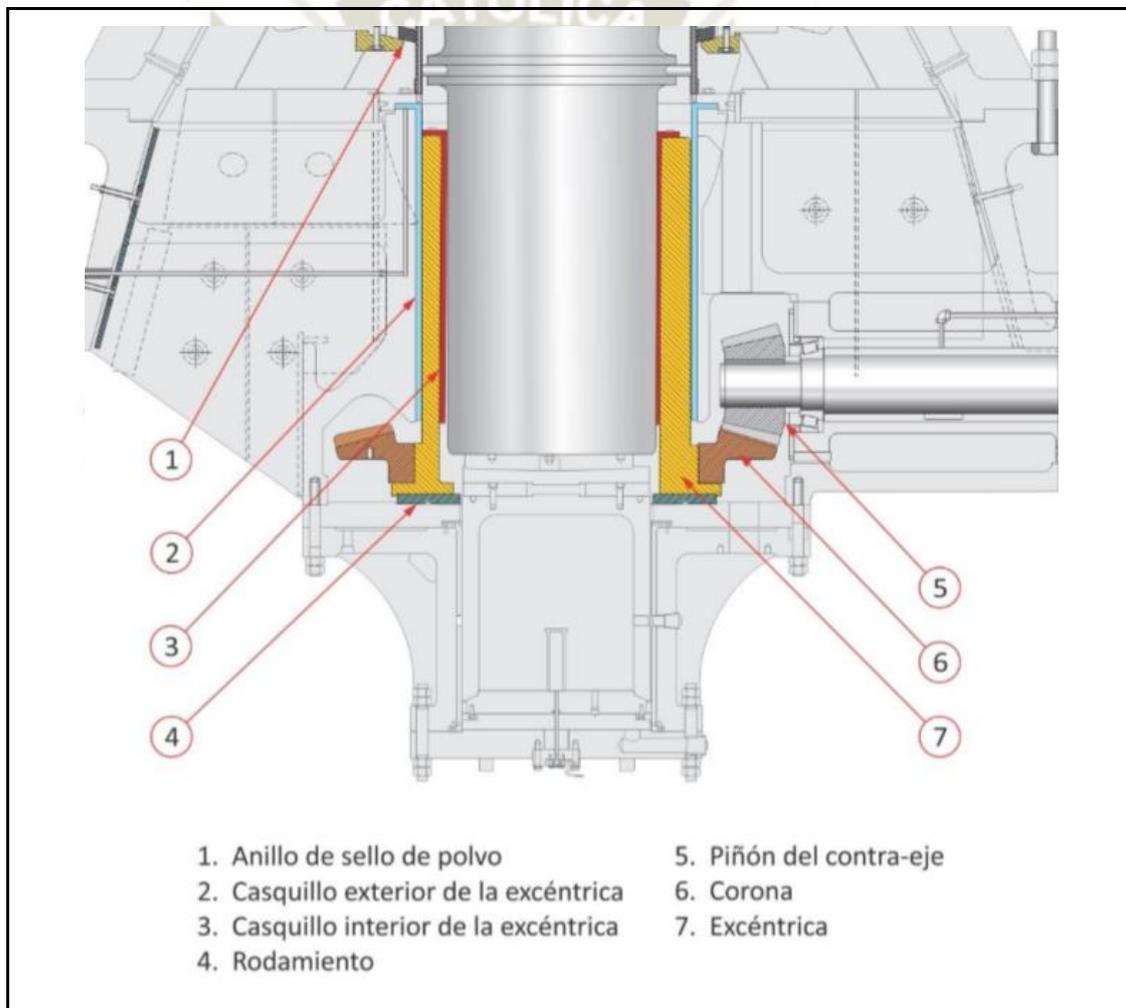


Fuente: Manual FLSmidth, 2015

d) Excéntrica

Está compuesta por anillos, un buje interior, un buje exterior y un engranaje, la característica de estos bujes y anillos es su agujero que está descentrado o excéntrico. La excéntrica es la parte que realiza el movimiento oscilante del eje principal para triturar el mineral, como se ve en la Figura 28 (Torres Raymundo, 2017).

Figura 28 Excéntrica – Parte de la chancadora primaria

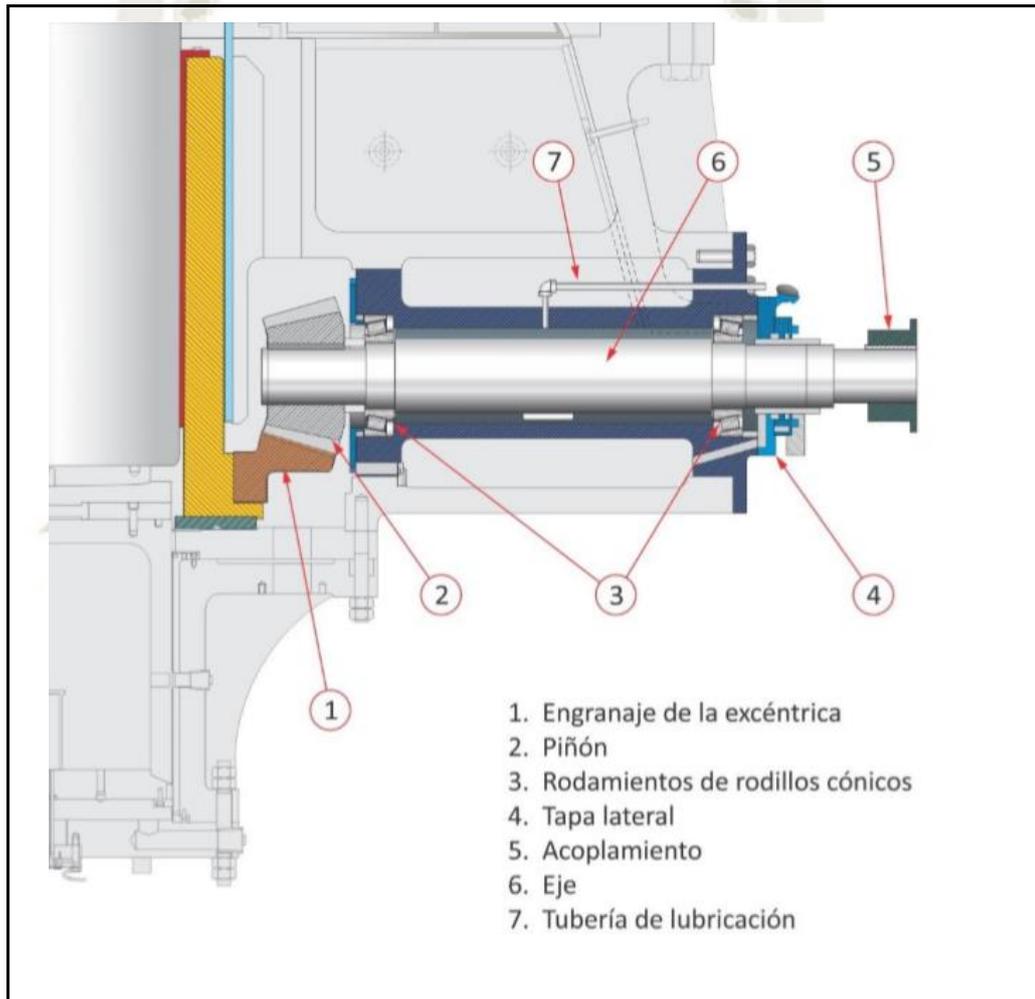


Fuente: Manual FLSmidth, 2015

e) Sistema de Accionamiento

Está conformada por el conjunto del contra-eje y un motor eléctrico, que se encargan de entregar la potencia necesaria para mover el engranaje de la excéntrica y de esta manera realizar el movimiento oscilatorio de la parte baja del eje principal y del manto, como se ve en la Figura 29 (Torres Raymundo, 2017).

Figura 29 Sistema de accionamiento - Parte de la chancadora primaria.

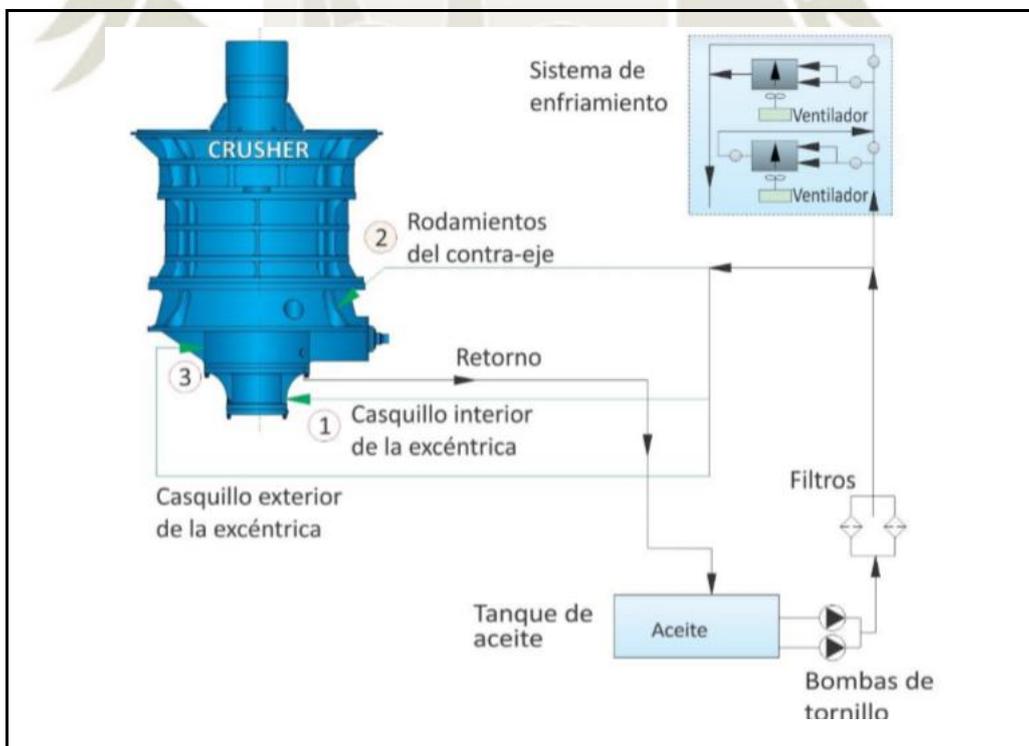


Fuente: Manual FLSmidth, 2015

f) Unidad Hidráulica

Está compuesta por un tanque de dos compartimientos: uno de 4,160l que se encuentra conectado por una tubería de 5’’ a dos bombas de tipo tornillo de 22.4kW (30HP) que son utilizados para la lubricación y otro de 567l que se encuentra conectado por una tubería de 1-1/4’ a dos bombas de engranajes de 5.6kW (7.5HP) que se utilizara para el sistema de ajuste hidráulico. El tanque cuenta con calentadores para mantener la temperada del aceite antes de ser bombeado así como sensores de nivel. La unidad cuenta también con dos filtros Dúplex instalados en paralelo que se encuentran conectados después de las bombas de tornillo con la finalidad de controlar la presión y de limpiar el aceite que después pasa por unos enfriadores para luego lubricar los componentes de la chancadora. Los puntos de lubricación son tres: en el pistón de ajuste hidráulico, los rodamientos del contra-eje y el casquillo exterior de la excéntrica, como se ve en la Figura 30 (Torres Raymundo, 2017).

Figura 30 Puntos de lubricación – Parte de la chancadora primaria



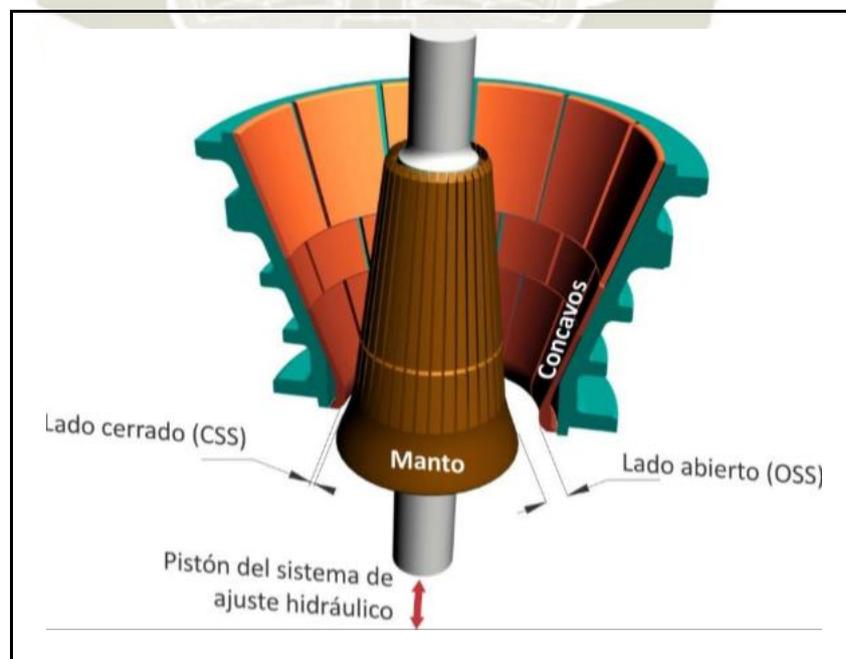
Fuente: Manual FLSmith, 2015

El sistema de ajuste hidráulico o setting se encuentra en la parte inferior de la chancadora y está compuesto por un pistón hidráulico dentro de un cilindro que sube y baja el conjunto del eje principal para cambiar el CSS (ajuste del lado cerrado) y OSS (ajuste del lado abierto). El sistema cumple con tres funciones:

- Subir y bajar el manto para ajustar las distancias CSS y OSS, o sino también para limpiarlo en el mantenimiento.
- Absorber las cargas de impacto a medida que aumenta o disminuye la carga en la chancadora con un acumulador hidráulico.
- Aumentar el OSS cuando haya un mineral no triturable en la cámara de chancado.

Ajuste del CSS y OSS: A medida que el pistón hidráulico se mueva hacia arriba con el eje principal, la distancia entre el manto y los cóncavos disminuye. Por lo contrario, cuando el pistón se mueva hacia abajo con el eje principal, la distancia entre el manto y los cóncavos va a aumentar, como se ve en la Figura 31 (Torres Raymundo, 2017).

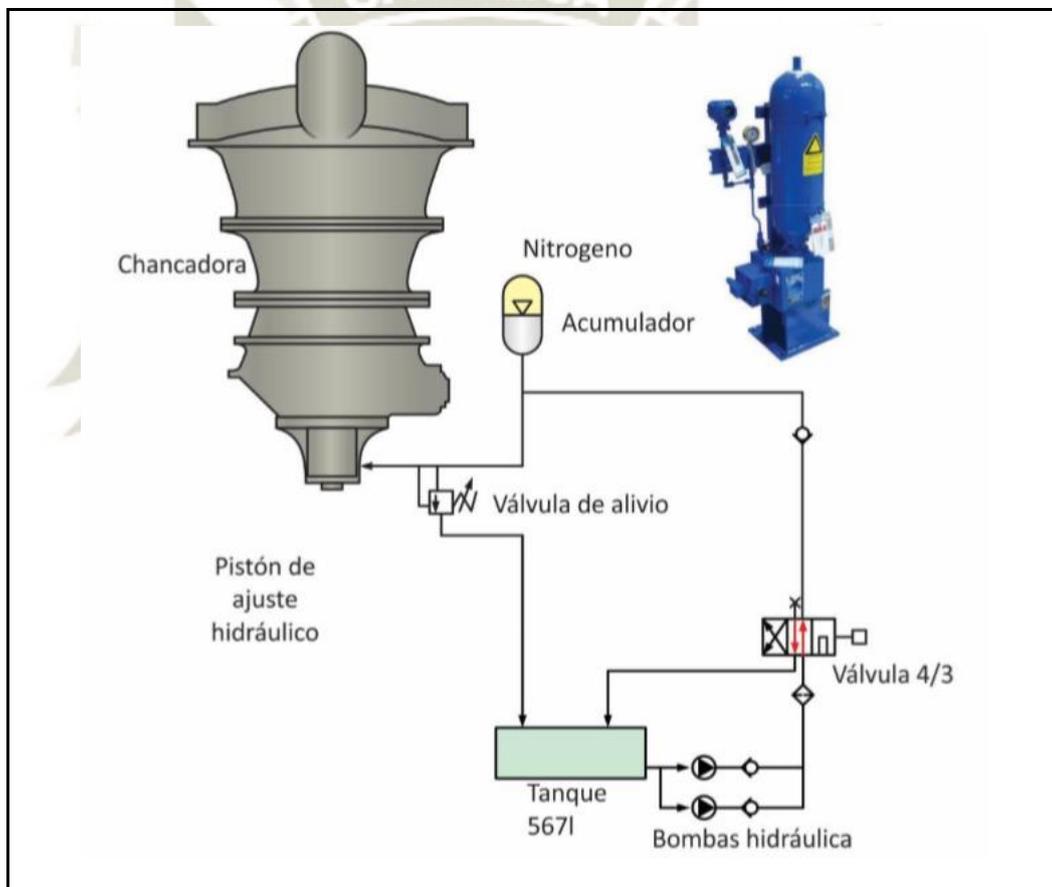
Figura 31 Ajuste del CSS y OSS (imagen de referencia)



Fuente: Elaboración propia

Absorción de impacto: Durante el funcionamiento de la chancadora las fuerzas del sistema de ajuste hidráulico varían de acuerdo a la carga de mineral sometida y a la presencia minerales no triturables, es por esto que el sistema cuenta con un acumulador hidráulico que consiste de una cámara de goma con nitrógeno comprimido y un pistón hidráulico. Cuando la presión del sistema aumenta el pistón comprime el nitrógeno absorbiendo el impacto y una vez que la presión descienda el pistón vuelve a su posición inicial al igual que el manto sin alterar el CSS y OSS ajustado. Ver Figura 32 (Torres Raymundo, 2017).

Figura 32 Sistema hidráulico de absorción de impacto – Parte de la chancadora primaria

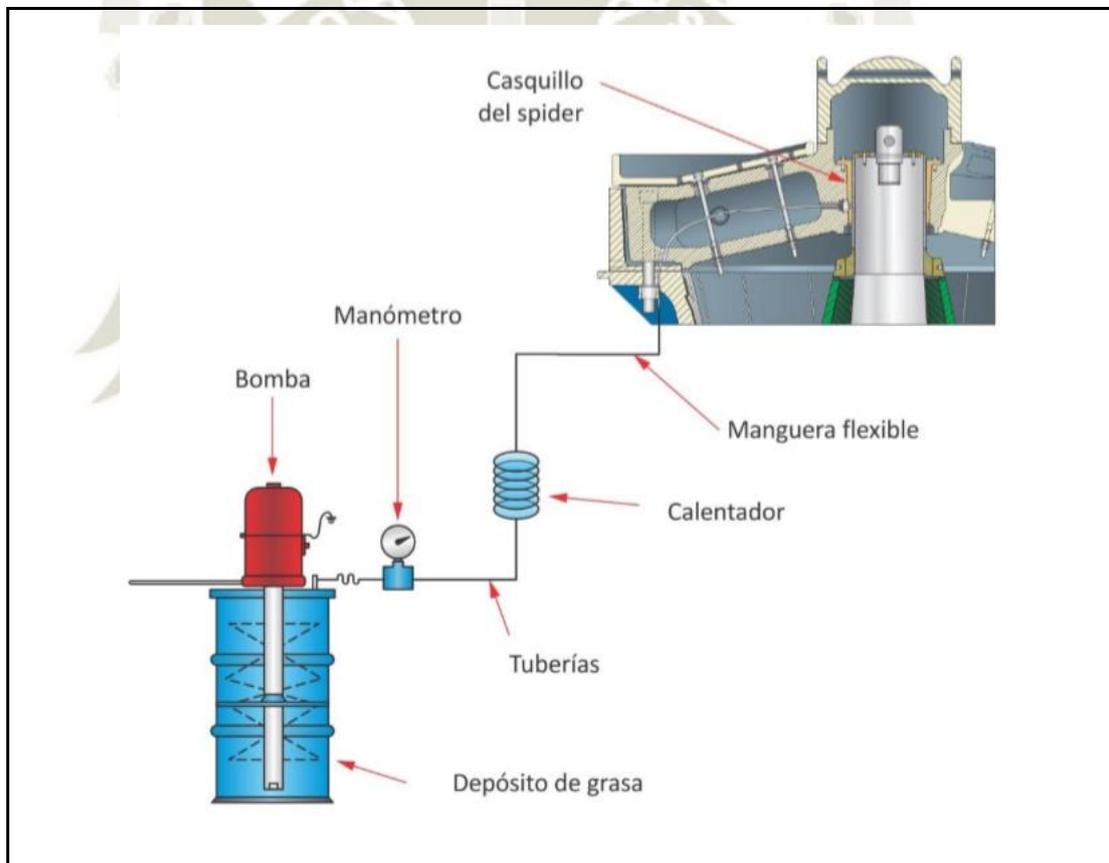


Fuente: Manual FLSmith, 2015

g) Sistema de Lubricación del Spider

El sistema de lubricación del spider consiste en un depósito de grasa equipado con una bomba de grasa eléctrica, con la finalidad de mantener lubricado de grasa el casquillo del spider, como se ve en la Figura 33. Para controlar la frecuencia de lubricación automáticamente, se utiliza un temporizador. El sistema de lubricación también puede ser operado en el modo Manual para llenar las líneas de grasa y lubricar el casquillo del spider (Torres Raymundo, 2017).

Figura 33 Sistema de lubricación del spider – Parte de la chancadora primaria

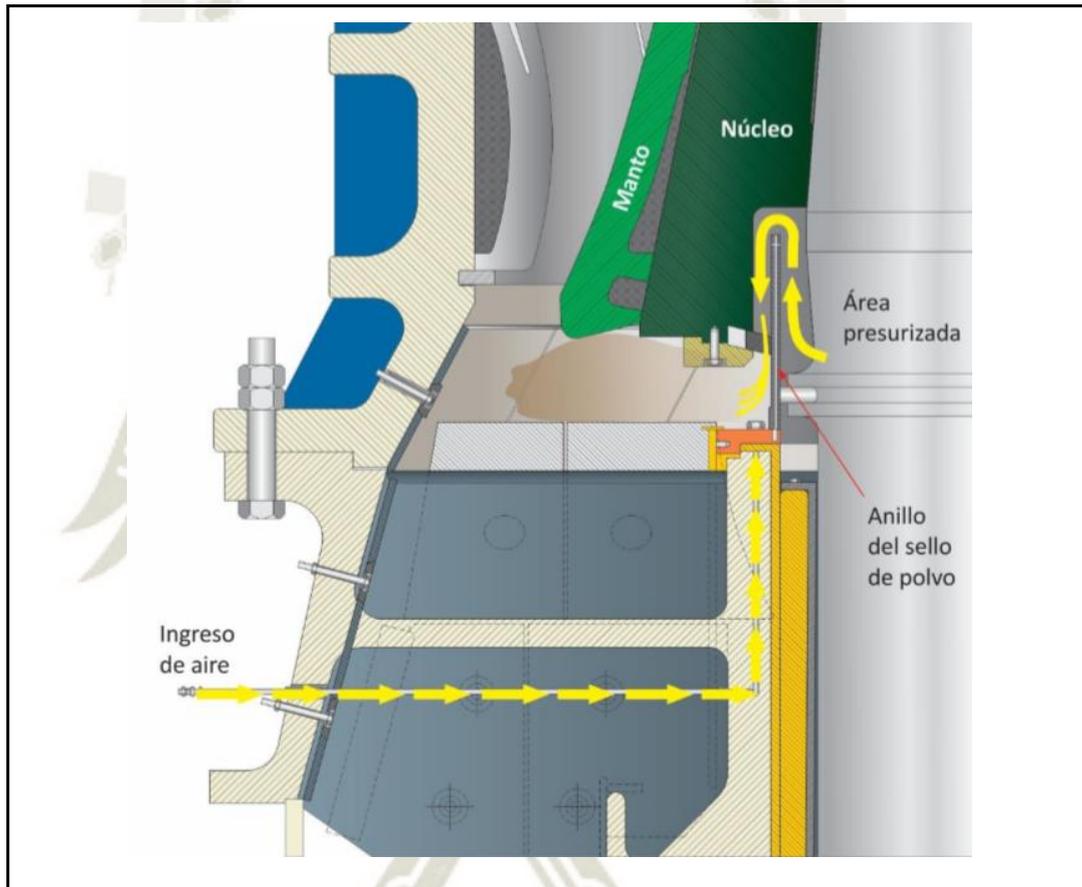


Fuente: Manual FLSmith, 2015

h) Sistema de Sello de Polvo

Está compuesta por un ventilador de 0.94kW de potencia que revoluciona a 3,600 RPM con el objetivo de presurizar el área que se encuentra sobre la excéntrica hacia el anillo del sello de polvo y de esta manera evitar que ingrese polvo hacia el sistema de lubricación y la excéntrica. Ver Figura 34 (Torres Raymundo, 2017).

Figura 34 Sello de polvo – Parte de la chancadora primaria

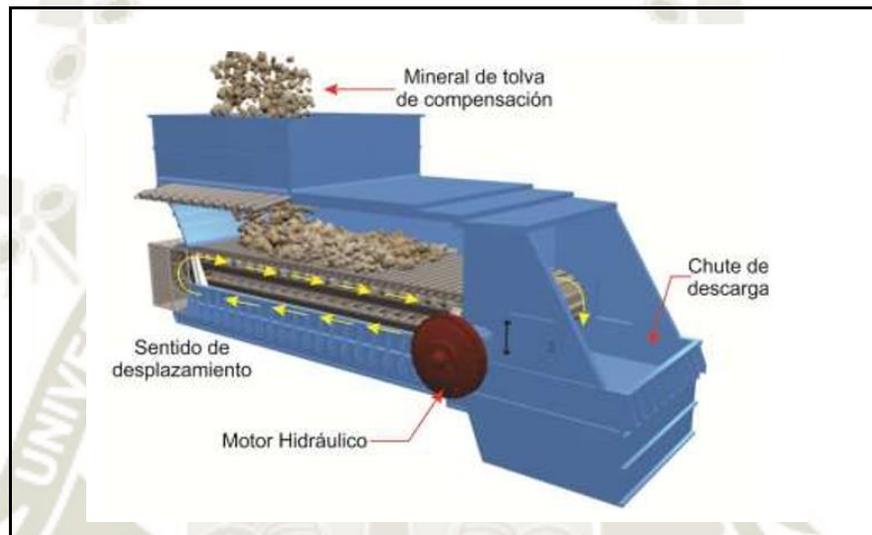


Fuente: Manual FLSmith, 2015

2.8.2. Alimentador de Placas (FE-001)

Conocido también como Apron Feeder, es un equipo diseñado para el desplazamiento gradual de mineral, su construcción es reforzada con una base hecha de perfiles robustos de acero y componentes estándares de maquinaria pesada (como cadenas y rodillos), lo que permite que el equipo sea usado para alta abrasión y con fuertes cargas de impacto (Zela Toledo, 2017).

Figura 35 Desplazamiento de carga en alimentador de placas



Fuente: Manual de Metso, 2015

2.8.3. Fajas transportadoras (CV-001 y CV-002)

Las Fajas Transportadoras son un elemento esencial en todo transporte de materiales, en este caso en minería, ya que constituye la forma más práctica y económica de transportar materiales de un punto a otro.

Las fajas son fabricadas con cubiertas de caucho y núcleos de fibras textiles o cables de acero, existiendo una infinidad de variables de acuerdo a la necesidad de los medios a transportar, variables como: longitud, velocidad, ángulo de inclinación y formas de material (Zela Toledo, 2017).

Figura 36 Faja transportadora de sacrificio.

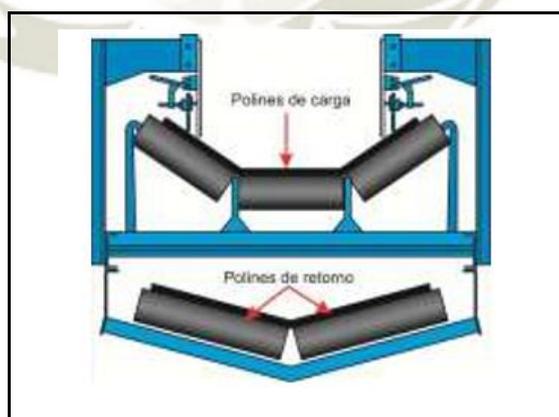


Fuente: Elaboración propia.

La faja de sacrificio se desplaza por fricción por acción de la polea motriz, el cual recibe movimiento por medio del sistema de accionamiento, conformado por un motor-reductor.

Las fajas transportadoras se desplazan entre dos poleas (una motriz y otra conducida). Esta se desplaza por medio de polines de carga, los cuales cumplen la función de soportar la faja y el mineral, y el retorno de la faja de sacrificio es por medio de polines de retorno, los que se encuentran ubicados debajo de los polines de carga (Zela Toledo, 2017).

Figura 37 Polines de carga y de retorno.



Fuente: Elaboración propia.

Las fajas transportadoras cuentan con tensadores por contrapeso, los cuales están destinados a cumplir dos funciones, proporcionar la tensión adecuada, para

generar la adherencia de la faja a la polea motriz y compensar el estiramiento de la faja mediante la reubicación del tensador mecánico (Zela Toledo, 2017).

2.8.4. Electroimán (MA-002).

El electroimán es un equipo de forma cuadrada con una bobina en el interior, la cual genera un potente campo magnético tras el ingreso de corriente DC (continua).

El electroimán es un equipo diseñado para extraer fragmentos metálicos del mineral que se transporta, que pueden venir desde mina o puede ser parte de los camiones mineros que se emplearon para su transporte desde mina hasta la cámara de compensación de la planta de chancado primario.

Figura 38 Electroimán.



Fuente: Equimag – Eriez, 2019

El electroimán está destinado a separar los fragmentos metálicos, con alto contenido de hierro, que se transportan junto con el mineral; con la finalidad de preservar la vida de las fajas transportadoras y evitar daños en los equipos del proceso.

El electroimán es ubicado en la parte de la descarga del alimentador de placas, sobre la trayectoria del material transportado; la aproximación del separador, se realiza mediante un sistema de desplazamiento, conformado por rieles y ruedas.

Cuando el equipo es posicionado de forma adecuada en la descarga del alimentador de placas, se enciende este de tal modo que genera un campo magnético que atrae los cuerpos extraños con alto contenido de hierro,

disminuyendo la posibilidad de daños en los siguientes equipos del proceso (Zela Toledo, 2017).

2.8.5. Detector de metales (MD-005)

El detector de metales es un equipo de alta fiabilidad electrónica, diseñado para detectar la presencia de piezas de metal, las cuales se encuentran mezcladas con el mineral, que es transportado por la faja de sacrificio.

Figura 39 Detector de metales



Fuente: Elaboración propia.

El detector de metales identifica la presencia de objetos metálicos del mineral chancado que es transportado por la faja de sacrificio, lo que permite proteger la faja Overland y evitar daños en los siguientes equipos del proceso.

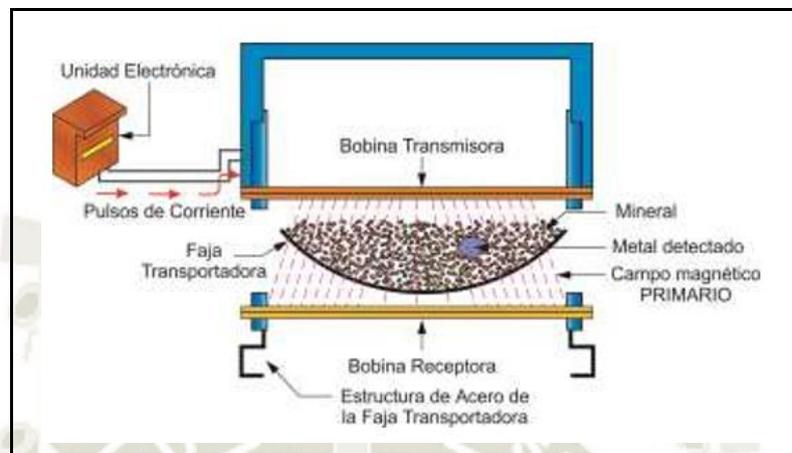
El detector de metales, detecta el objeto de metal, indistintamente si este se encuentra en la parte alta, media o baja del montículo del mineral transportado.

El funcionamiento del detector de metales se basa en la siguiente propiedad: “La conductividad de un material puede ser determinada, midiéndose la intensidad de corrientes parasitas inducidas, por un campo magnético variable en el tiempo”. Recordar que el detector de metales está constituido por un sistema de bobinas; de las cuales una bobina es transmisora y dos son receptoras.

La bobina transmisora, recibe pulsos eléctricos de corriente, de la unidad electrónica, generándose un campo magnético pulsante, denominado “Campo principal”, al pasar el material metálico, por el campo magnético principal (generado por la bobina transmisora), este se carga de corrientes parasitas, dando origen a un campo magnético secundario; el cual se mantiene por un cierto

periodo, después de la extinción del pulso de corriente aplicado a la bobina transmisora (Zela Toledo, 2017).

Figura 40 Campo magnético primario del electroimán



Fuente: Elaboración propia.

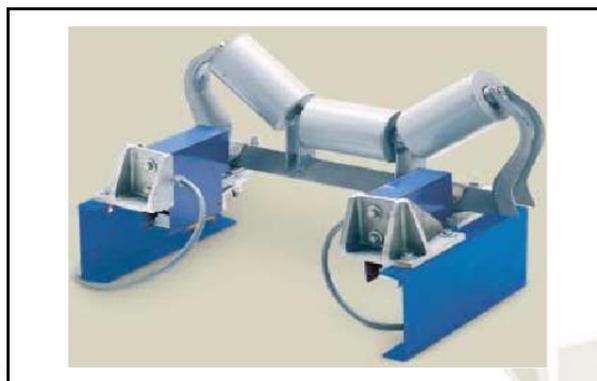
El campo magnético secundario que es generado por el material metálico, induce tensión en las bobinas receptoras, generando una señal de alarma, la cual se visualizará en el sistema de control y posteriormente provocará la detención de la faja de sacrificio por enclavamiento. No olvide, que la unidad electrónica del detector de metales, solamente mide el efecto del campo magnético secundario, durante el intervalo de tiempo en que el campo magnético primario es cero.

En ciertos casos, cuando las fajas están unidas por grapas metálicas, dichas grapas metálicas pueden ser detectadas y pueden confundirse con fragmentos de metal; para ello se regula la sensibilidad del equipo para evitar paradas constantes (Zela Toledo, 2017).

2.8.6. Balanza en faja transportadora (SL-001).

La balanza es un equipo electrónico que se encuentra montado en la estructura de la faja de sacrificio, que permite controlar el flujo de masa del mineral transportado por la faja, de tal modo que nos proporción la información de cuantas toneladas métricas por hora son transportadas (Zela Toledo, 2017).

Figura 41 Balanza de faja de sacrificio.



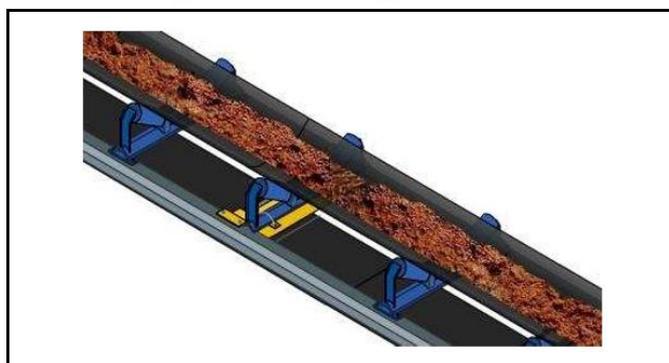
Fuente: Elaboración propia.

La balanza determina el peso del mineral que es transportado por la faja de sacrificio, midiendo la cantidad de mineral generado en el proceso de chancado primario; esta información, se registra en la sala de control, para el monitoreo del proceso y la estadística metalúrgica. La balanza se encuentra ubicada en la faja transportadora de sacrificio.

La balanza está compuesta por tres elementos principales: la unidad de pesaje, el sensor de velocidad de la faja y un integrador electrónico (unidad electrónica).

La unidad de pesaje consta de dos bloques idénticos, con accesorios de soporte, para fijarlos directamente en la estructura de la faja de la faja de sacrificio. Los bloques de pesaje soportan el polín pesador, de modo que cuando la faja cargada lo presiona, comprime las celdas de carga y las deforma, provocando una variación en su resistencia interna, que da como resultado una señal eléctrica proporcional al peso del mineral (Zela Toledo, 2017).

Figura 42 Ubicación de la balanza en la faja



Fuente: Elaboración propia.

Por ejemplo, si suponemos que 1 mm de deformación de las celdas equivale a 50 kg de mineral y están pasando 100 Kg por la balanza, entonces se tiene que las celdas se deformaran 2 mm. También la unidad de pesaje, cuenta con un sensor de velocidad o tacómetro, el cual está mecánicamente conectado al eje de la polea de cola de la faja, dicho sensor genera una serie de impulsos eléctricos; cada uno de los cuales representa una unidad de desplazamiento de la faja.

La frecuencia de los impulsos es proporcional a la velocidad real de la faja. Por ejemplo, si suponemos que 1 impulso equivale a 1 cm de desplazamiento de la faja y que el sensor emite 30 impulsos por segundo, entonces se tiene que la faja recorre 30 cm cada segundo.

Los elementos electrónicos de la balanza aceptan dos señales de entrada, de la cual una señal es proporcionada por la velocidad de la faja y la otra señal por la lectura de carga, ambas señales, tanto la señal de las celdas de carga, como la señal del tacómetro, se integran electrónicamente en el microcomputador, para posteriormente calcular el tonelaje por hora y el total de mineral que pasa por la balanza.

Finalmente, las mediciones son enviadas al sistema de control de procesos, la unidad electrónica también incorpora la fuente de alimentación para las celdas de carga; esta a su vez incluye todas las funciones que permiten, la calibración, operación y diagnóstico de todo el sistema (Zela Toledo, 2017).

CAPÍTULO III

3. APLICACIÓN DE LA INGENIERÍA DE CONFIABILIDAD

3.1. INTRODUCCIÓN

La ingeniería de confiabilidad nos permitirá optimizar el mantenimiento actual del proceso de chancado primario, utilizando metodologías en base a herramientas de estadística, al mantenimiento centrado en la confiabilidad y análisis de la confiabilidad de los equipo o componentes para poder determinar e implementar nuevas tareas de mantenimiento que permitan obtener mejores beneficios de los activos.

La retroalimentación que tenemos por parte de la mina es el histórico de fallos real del área de chancado primario. Con esta base de datos vamos a desarrollar el este capítulo para aplicar la ingeniería de confiabilidad.

3.2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Para lograr optimizar el mantenimiento del área de chancado primario de la planta concentradora de mineral de cobre, debemos seguir una secuencia de pasos, para que al final se identifiquen nuevas tareas o rutinas de mantenimiento para que se implementen o añadan en el plan de mantenimiento actual de la mina.

La secuencia de pasos a seguir es la siguiente:

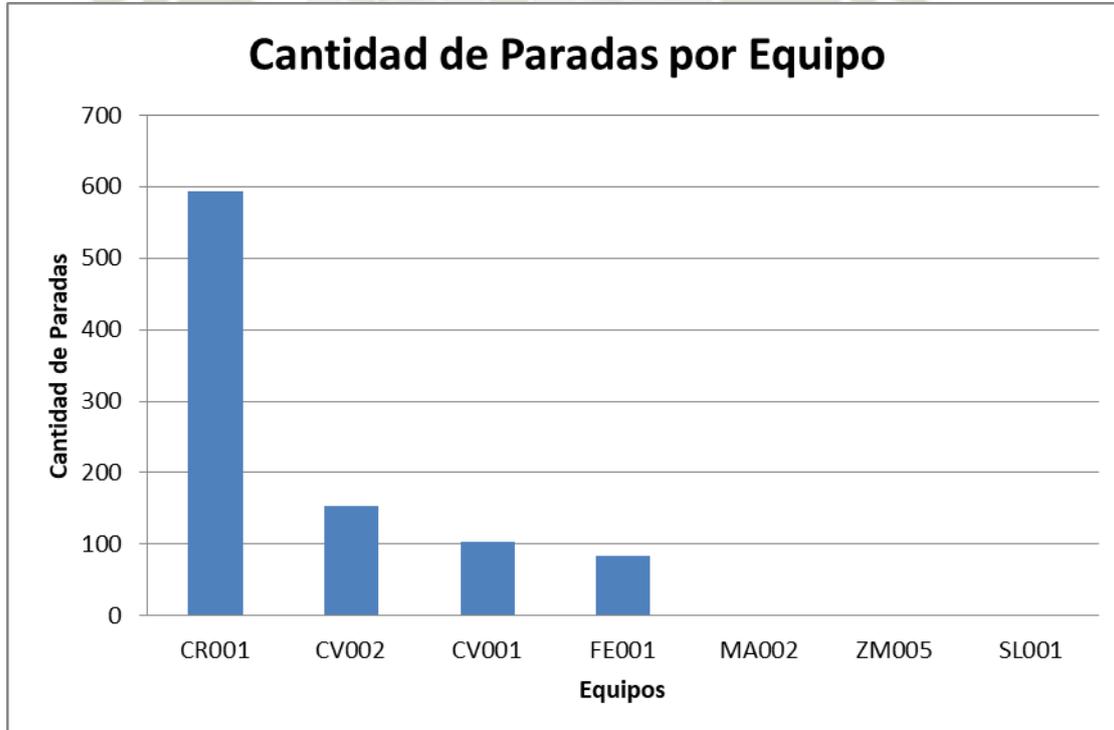
- Primero: Seleccionar los equipos con más paradas del área de chancado primario (equipos que han presentado fallas en el histórico de fallos de la empresa minera) y determinar su contexto operacional, especificaciones técnicas y jerarquización de cada equipo.
- Segundo: Realizar la identificación de los componentes más críticos que están generando mayores paradas imprevistas, disminuyendo la producción y con elevadas pérdidas. Para esto se realizará diagramas de dispersión del tiempo medio para reparar (MTTR) y costo medio por pérdida de producción durante las reparaciones (MCTR).
- Tercero: Luego de tener identificados los componentes más críticos; procederemos a determinar, en base a la experiencia y manual de fallos del fabricante, cada uno de los modos de fallos por componte y describir sus consecuencias. Todo esto se llenará en la hoja AMEF.

- Cuarto: Luego de tener identificados los modos de fallos; procederemos a utilizar el “Árbol de Decisiones” del RCM y análisis de confiabilidad para determinar qué tipo de tarea proactiva se va a proponer. Todo esto se llenará en una “Hoja de Decisiones” por componente crítico.
- Quinto: Se realizará un análisis de costo del ciclo de vida de los equipos de chancado primario y un comparativo con el mantenimiento actual.

3.3. SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS CON MÁS PARADAS

Según el histórico de fallos facilitado por la minera de tres años de producción, se observa que no se tienen paradas por falla de todos los equipos del área de chancado primario (ver Figura 43), esto se debe a que algunos equipos no generan paradas imprevistas por alguna falla o no son indispensables para que la producción pueda continuar. Por lo tanto, desarrollaremos nuestra metodología de la ingeniería de confiabilidad solamente a los equipos que han presentado pérdidas de producción por falla y los llamaremos “equipos con más paradas” del área de chancado primario, mostrados en la Tabla 5:

Figura 43 Cantidad de Paradas por Equipo del área de chancado primario.



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 5 Equipos con Más Paradas del Área de Chancado Primario

EQUIPO	DESCRIPCIÓN	VENDOR Y DIMENSIONES	PESO (Kg)
CR-001	Chandora primaria	FLSmith 9.5m x 9.5m x 6.2m	215000
FE-001	Alimentador de placas	Metso 11m x 2.134m	52328
CV-001	Faja transportadora de Sacrificio	Thyssen Krupp 72" x 100m	44000
CV-002	Faja transportadora Overland	Thyssen Krupp 54" x 6700m	1195000
MA-002	Electroimán	Eriez 2m x 2m x 1m	1500
ZM-005	Detector de metales	Advance 1m x 2m x 2m	450
SL-001	Balanza en faja transportadora	Merrick 5m x 2m x 0.5m	1200

Fuente: Elaboración Propia.

3.4. CONTEXTO OPERACIONAL

La operación minera está ubicada a 3200 m.s.n.m. y a unos 200 Kilómetros de la ciudad más cercana. Esta planta procesa concentrado de cobre, desde la extracción de la mina a tajo abierto, hasta la obtención de concentrado de cobre.

Las condiciones climáticas son estables la mayor parte del año los cielos están despejados, siendo escasa la presencia de lluvia, que sólo se manifiesta en los primeros meses del año. Existe una laguna que alimenta con agua el proceso productivo, y también, se recupera agua del relave que es re bombeado a la planta concentradora.

Los equipos están expuestos a gran cantidad de polvo en su mayoría generado por el mismo proceso de chancado y transporte, ya que los colectores de polvo, instalados en varios puntos de la línea de producción, en algunos casos son deficientes por su antigüedad.

Los equipos reciben una mantención correctiva, excepto en algunos componentes críticos de la chancadora en donde la mantención es planificada con tiempo, ejemplo de ello son el cambio de eje principal y el cambio de cóncavas.

Para componentes menos críticos, se realiza solo mantención correctiva ya que realizar mantención preventiva implicaría detener la línea de producción. Estos componentes solo se revisan cuando fallan o cuando se está realizando una mantención y el equipo está detenido.

El mineral ROM (Run of Mine), es transportado por camiones de 250 toneladas cortas de capacidad; estos llegan hasta una tolva de alimentación, la cual tiene dos frentes paralelos de descarga y una capacidad aproximada de 500 toneladas.

El mineral es alimentado al chancador tipo giratorio (CR-001) de 1.525 m x 2.870 m (60" X 113") de dimensión y una capacidad de tratamiento en el rango de los 4,167 a 7,500 t/h dependiendo de las características del mineral.

Este chancador es accionado por un motor eléctrico de 750 kW (1005.75 HP) de potencia.

Cuando el mineral que se alimenta al chancador desde mina es de gran tamaño y no puede pasar por la chancadora, se procede a fragmentar por medio de un picador de rocas, ubicado en la parte superior, el cual fragmentará el mineral hasta lograr que pase por el chancador, y así continuar con el proceso.

Una vez reducido el mineral, es descargado por gravedad en la tolva de compensación (surge pocket), la cual tiene una capacidad de almacenamiento aproximada de 500 toneladas, el tamaño aproximado máximo de descarga del mineral es de 7".

Posteriormente este mineral se descarga, de igual forma por gravedad sobre un alimentador de placas (FE-001), el cual tiene una capacidad aproximada de 4167 t/h, con un ancho de 2.134 m y un largo de 11 m. este alimentador es accionado por un motor hidráulico, cuenta con una unidad de potencia hidráulica que cuenta con un motor eléctrico de 250 kW (335.25 HP) de potencia.

Este alimentador, transporta el mineral hacia la faja de sacrificio (CV-001), la que se encarga de amortiguar la caída de mineral y transportarlo hacia la faja transportadora Overland. La faja sacrificio tiene una longitud de 100 metros, un ancho de 1.8 m y una velocidad de 2.0 m/s, de igual forma, tiene una capacidad en un rango de 4167 a 7500 t/h.

La faja transportadora Overland (CV-002), es la que se encarga de transportar el mineral desde la descarga de la faja transportadora sacrificio, hasta la ruma de gruesos (stock pile). Esta tiene un ancho de 1.4 m, y un largo de 6700 m. Es accionada por un motor eléctrico de 6860 kW (9200 HP) de potencia, puede llegar a una velocidad de 4.8 m/s, y tiene una capacidad de 5263 a 7500 t/h.

La ruma de gruesos (stock pile), es una pila de acopio de 55,000 toneladas de capacidad viva. Desde aquí el mineral es alimentado para la siguiente etapa de tratamiento de este, que es la molienda.

Adicionalmente podemos observar que en la descarga del alimentador de placas encontramos un electroimán (MA-002), el que permite el retiro oportuno de metales que puedan producir algún daño, tanto en la faja de sacrificio como en la faja Overland. También podemos ver que la correa sacrificio, cuenta con un detector de metales (MD-005), la función de este es de detectar presencia en la faja de sacrificio de objetos metálicos (restos de planchas, uñas de cargador, etc.) los cuales no han podido ser retirados por el electroimán, y puedan producir daño en la correa Overland. En caso de detectar presencia de estos objetos, la correa se detendrá a fin de que el objeto metálico, sea retirado posteriormente por el operador, esto siguiendo el procedimiento correspondiente de retiro de metales de fajas transportadoras.

La faja sacrificio, también cuenta con una balanza (SL-001), la cual indica el tonelaje que va pasando hacia la faja overland.

3.5. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS CON MÁS PARADAS

Las especificaciones técnicas de los equipos principales del área de chancado primario, a los cuales de aplicará la ingeniería de confiabilidad para optimizar el mantenimiento del área de chancado primario, se muestran en las siguientes Tablas 6, 7, 8 y 9.

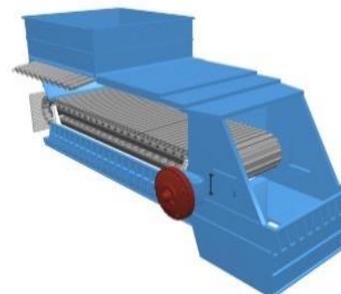
Tabla 6 Especificaciones técnicas de la Chancadora Primaria 60" x 113"

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS CHANCADORA PRIMARIA		
Datos Generales		
Equipo	CR-001	
Fabricante	FLSMIDTH	
Modelo	TRAYLOR NT	
Tipo	Giratorio	
Dimensiones	1525 mm x 2870 mm (60" x 113")	
Capacidad	4167 a 7500 t/h	
Abertura lado cerrado (OSS)	203 mm	
Masa total	406000 kg	
Accionamiento		
Motor		
Marca	TECO Westinghouse	
Fabricante	FLSMIDTH	
Potencia	750 kW	
Rotación	500 RPM	
Polos/Frecuencia/Tensión	14/60Hz/4000V	
Sistema de Tracción		
Tipo	Transmisión Directa	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7 Especificaciones técnicas del Alimentador de Placas

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ALIMENTADOR DE PLACAS		
Datos Generales		
Equipo	FE-001	
Fabricante	Metso	
Transportador	De	CR-001
	A	CV-001
Puntos de Carga	1	
Longitud Horizontal	11 m	
Capacidad (Máxima)	5283 t/h	
Capacidad (Nominal)	4167 t/h	
Material a Transportar	Mineral de Cobre	
Granulometría de Material	- 178 mm	
Velocidad	Variador de velocidad	
Placas de Desgaste		
Fabricante	Metso	
Material	Acero al manganeso	
Dimensiones	38 mm x 2134 mm	
Cadena		
Fabricante	Metso	
Tipo	"S.A.L.T." D6 STEEL ROLLER	
Paso	202.8 mm	
Cantidad	2 x 119 Unid.	
Tensión de Cadena	Tornillo	
Accionamiento		
Tipo	Eléctrico / Hidráulico	
Potencia	300 kW	
Velocidad de Giro	Variable	



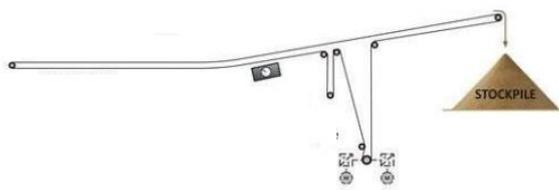
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8 Especificaciones técnicas de la Faja de Sacrificio

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS FAJA DE SACRIFICIO	
	
Datos Generales	
Equipo	CV-001
Fabricante	Thyssen Krupp
Capacidad	4167 a 7500 t/h
Porcentaje de Carga	74%
Ancho de Faja	72"
Ángulo de Abarquillamiento	15°
Velocidad de Diseño	2.0 m/s
Distancia entre Centros	100 m
Altura de Levante	5 m
Tensor	Contrapeso
Motor	
Tipo	Eléctrico
Potencia	250 kW
Velocidad de Giro	Variable
Transmisión	
Tipo	Reductor y Acoplamiento
Velocidad de Salida	Variable

Fuente: *Elaboración propia.*

Tabla 9 Especificaciones técnicas de la Faja Overland

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS FAJA DE SACRIFICIO	
	
Datos Generales	
Equipo	CV-002
Fabricante	Bechtel Chile Ltda
Capacidad	5263 a 7500 t/h
Porcentaje de Carga	75%
Ancho de Faja	54"
Ángulo de Abarquillamiento	25°
Velocidad de Diseño	4.8 m/s
Distancia entre Centros	6700 m
Altura de Levante	224 m
Tensor	Winche eléctrico
Motor	
Tipo	Eléctrico
Potencia	6860 kW / 1200 RPM
Velocidad de Giro	Variable
Transmisión	
Tipo	Reductor y Acoplamiento
Velocidad de Salida	Variable

Fuente: Elaboración propia.

3.6. ESTRUCTURA JERÁRQUICA DE LOS EQUIPOS CON MÁS PARADAS

Para la aplicación de la ingeniería de confiabilidad, se debe tomar los equipos para dividirlos de mayor a menor jerarquía o grado de detalle.

Esta división es primordial y de la mayor importancia debida a que permite definir cómo se tratará a los equipos, respecto a la posterior interpretación de los resultados; y luego cómo se asociarán los registros de operación y mantenimiento, de modo de contar con metodologías sencillas de análisis. Los Registros de Mantenimiento deben relacionarse con cada nivel dentro de la jerarquía del equipo a fin de que puedan compararse.

Se realizó la jerarquización de los equipos principales del área de chancado primario, la cual está conformada por los siguientes sistemas y componentes, según las Tablas 10, 11, 12 y 13.



Tabla 10 Estructura Jerárquica de la Chancadora Primaria 60" x 113"

ESTRUCTURA JERARQUICA CHANCADORA PRIMARIA 60" X 113"		
EQUIPO	SISTEMA	COMPONENTE
CR001	Sistema de transmision y eje principal	Eje principal
		Excéntrica
		Contraeje
		Acople lado motor
		Acople lado contraeje
		Eje flotante (intermedio)
	Sistema estructural	Araña
		Carcasa superior
		Carcasa media
		Carcasa inferior
		Carcasa del contraeje
		Carcasa del hidroset
	Sistema de desgaste	Cojinete de araña
		Cóncavos Carcasa superior y media
		Cóncavos Carcasa inferior
		Mantos de eje principal
	Sistema de lubricación excéntrica	Reservorio
		Bomba de aceite #1 (lubricación)
		Bomba de aceite #2 (lubricación)
		Enfriador aire-aceite #1
		Enfriador aire-aceite #2
		Accesorios
	Sistema de lubricación araña	Bomba de succión de grasa
		Líneas de grasa
		Barril de almacenamiento
	Sistema de ajuste hidráulico	Cilindro de ajuste hidráulico (hidroset)
		Reservorio
		Bomba de aceite #1 (hidroset)
		Bomba de aceite #2 (hidroset)
		Accesorios
	Sistema de sello de polvo	Soplador
		Accesorios
	Sistema Control	Proteccion, medicion y control (multilin)
Sistema de instrumentación	Sensor de nivel de tolva de compensación	
	Sensor de temperatura	
	Sensor de posicion de eje principal	

		Sensor de velocidad de contraeje
		Sensor de nivel de aceite
		Sensor de flujo

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11 Clasificación del sistema del Alimentador de Placas

ESTRUCTURA JERARQUICA ALIMENTADOR DE PLACAS		
EQUIPO	SISTEMA	COMPONENTE
FE001	Sistema hidraulico	Reservorio
		Motor electrico
		Bomba
		Tuberias valvulas y Filtros
		Enfriador
		Motor hidraulico
		Instrumentos de sistema
	Sistema de transporte	Bandejas
		Cadena
		Ruedas, ejes y chumaceras
		Rodillos
	Chute de carga	Elementos de desgaste
	Sistema de instrumentacion	Sensores de velocidad
		Pullcord

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12 Clasificación del sistema de la Faja de Sacrificio

ESTRUCTURA JERARQUICA FAJA DE SACRIFICIO		
EQUIPO	SISTEMA	COMPONENTE
CV001	Sistema Electrico	Motor electrico
		Lineas de potencia
		Proteccion, medicion y control (multilin)
	Sistema de transmision	Acoples
		Reductor
	Sistema de transporte	Faja
		Poleas y chumaceras
		Polines y bastidores
		Contrapeso
		Backstop
	Sistema de instrumentacion	Pullcord
		Sensor de desalineamiento

		Sensor de velocidad cero
		Detector de faja rota
		Sensor de temperatura
		Detector de metales
		Magneto
		Balanza
		Sensor de nivel
		Alarmas
	Chute de carga	Elementos de desgaste
		Falderas
	Sistema de limpieza	Raspadores
		Bota piedra
	Sistema estructural	Estructura

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13 Clasificación del sistema de la Faja Overland

ESTRUCTURA JERARQUICA FAJA OVERLAND		
EQUIPO	SISTEMA	COMPONENTE
FAJA OVERLAND	Sistema Electrico	Motores electricos
		Lineas de potencia
		Proteccion, medicion y control (VFD)
	Sistema de transmision	Acoples
		Reductores
	Sistema de transporte	Faja
		Poleas y chumaceras
		Polines y bastidores
		Contrapeso
		Backstop
	Sistema de instrumentacion	Pullcord (field stop)
		Sensor de desalineamiento
		Sensor de velocidad cero
		Detector de faja rota
		Sensor de temperatura
		Sensor de nivel
		Alarmas
	Chute de carga	Elementos de desgaste
		Falderas
	Sistema de limpieza	Raspadores
		Bota piedra
	Sistema estructural	Estructura

Fuente: Elaboración propia.

3.7. IDENTIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES CRÍTICOS

Para esta parte se trabajó con la base de datos del histórico de fallos de la empresa minera que contiene los fallos ocurridos durante los últimos 3 años de funcionamiento del área de Chancado Primario. Esta base de datos contiene, además de los modos de fallo; el número de paradas, la duración y el costo por pérdida de producción; que serán utilizados para este análisis.

Utilizaremos diagramas de dispersión para poder determinar los fallos más críticos que están generando pérdidas en producción en el área de Chancado Primario.

3.7.1. Análisis por Diagramas de Dispersión de Fallos

Los diagramas de dispersión de fallos nos permiten identificar las causas de fallo más críticas con dos variables a la vez para determinar las causas de fallo más agudas y crónicas.

Se realizarán dos análisis: En el primer análisis utilizaremos las variables “Tiempo Medio para Reparar” (MTTR) versus el “Número de Paradas” (N) y en un segundo análisis utilizaremos las variables “Costo Medio para Reparar” (MCTR) versus el “Número de Paradas” (N).

3.7.1.1. Análisis de Dispersión de Fallos: N° Paradas vs MTTR

En la Tabla 14 se muestran los fallos obtenidos de la base de datos de la minera con su MTTR y la cantidad de paradas, y con el cálculo para determinar los límites del análisis de dispersión para identificar las causas de fallo más relevantes, en este caso las que se encuentran en la zona Aguda – Crónica (AC) como se puede apreciar en la Figura 44. Se puede identificar 5 causas de fallo que se encuentran en esa zona.

Tabla 14 Análisis de Dispersión de Fallos N° Pardas vs MTTR.

ANÁLISIS DE DISPERSIÓN POR MTTR Y N° PARADAS					
It.	FALLOS	N° PARADAS	DURACIÓN (hrs.)	MTTR	PRIOR.
1	Excéntrica Rotura/Fisura	2	120.92	60.46	A
2	Elemento de desgaste (Manto) Caida	11	46.67	4.24	A
3	Elemento de desgaste Caida	33	31.00	0.94	AC
4	Faja/correa dañada	18	29.18	1.62	AC
5	Sensor de nivel Sensor dañado	23	21.55	0.94	AC
6	Contraeje Dañado	6	19.58	3.26	A
7	Reservorio de aceite Lubricacion	41	16.60	0.40	C
8	Proteccion/medicion y control Multilin E3plus Configuracion	259	15.50	0.06	C
9	Elemento de desgaste Rotura/Fisura	15	15.50	1.03	AC
10	Variador/Arrancador Dañado	10	15.27	1.53	A
11	Variador/Arrancador Configuracion	31	15.25	0.49	C
12	Elemento de desgaste (Manto) Rotura/Fisura	10	14.62	1.46	A
13	Sensor de nivel Falso contacto	66	14.53	0.22	C
14	Cilindro (Ajuste hidraulico) Rotura/Fisura sello	119	13.63	0.11	C
15	Reparación de instrumentación/eléctrica	30	12.50	0.42	C
16	Ensamble de la araña Soltura	3	11.83	3.94	A
17	Lineas de alimentación electrica Corto circuito	11	9.98	0.91	A
18	Polines y bastidores Dañado	14	9.22	0.66	AC
19	Sensor de faja rota Falso contacto	24	9.18	0.38	C
20	Falsa indicación	13	5.22	0.40	C

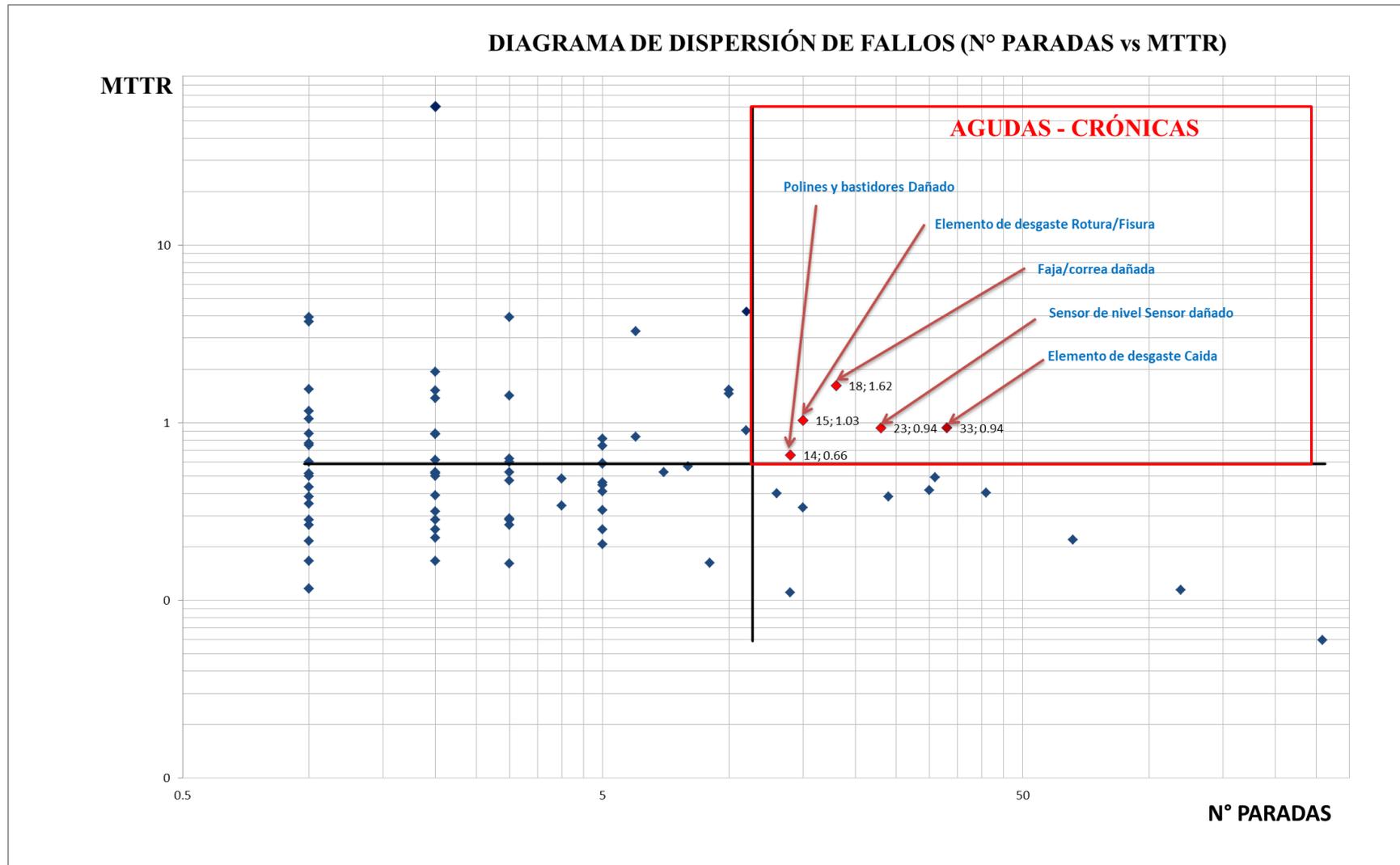
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15 Parámetros para formar los cuadrantes del diagrama de dispersión.

Q	N	D	D/N	N/Q
82	933	548.78	0.59	11.38

Fuente: Elaboración propia.

Figura 44 Diagrama de Dispersión N° Paradas vs MTTR.



Fuente: Elaboración Propia

3.7.1.2. Análisis de Dispersión de Fallos: N° Paradas vs MCTR

Tabla 16 Análisis de Dispersión de Fallos N° Pardas vs MCTR.

ANÁLISIS DE DISPERSIÓN POR MCTR Y N° PARADAS						
It.	FALLOS	N° PARADAS	COSTO (S/)	COSTO (\$)	MCTR (\$)	PRIOR.
1	Excéntrica Rotura/Fisura	2	804095.84	268031.95	134015.97	A
2	Elemento de desgaste (Manto) Caida	11	303129.18	101043.06	9185.73	A
3	Faja/correa dañada	18	179106.67	59702.22	3316.79	AC
4	Elemento de desgaste Caida	33	177776.67	59258.89	1795.72	AC
5	Sensor de nivel Sensor dañado	23	143307.51	47769.17	2076.92	AC
6	Contraeje Dañado	6	119921.67	39973.89	6662.32	A
7	Proteccion/medicion y control Multilin E3plus Configuracion	259	105069.99	35023.33	135.23	C
8	Elemento de desgaste Rotura/Fisura	15	102188.34	34062.78	2270.85	AC
9	Variador/Arrancador Dañado	10	100747.50	33582.50	3358.25	A
10	Elemento de desgaste (Manto) Rotura/Fisura	10	97200.83	32400.28	3240.03	A
11	Variador/Arrancador Configuracion	31	95538.31	31846.10	1027.29	C
12	Sensor de nivel Falso contacto	66	94651.67	31550.56	478.04	C
13	Cilindro (Ajuste hidraulico) Rotura/Fisura sello	119	93765.01	31255.00	262.65	C
14	Ensamble de la araña Soltura	3	78691.67	26230.56	8743.52	A
15	Reparación de instrumentación/eléctrica	30	77694.17	25898.06	863.27	C
16	Lineas de alimentación electrica Corto circuito	11	59739.17	19913.06	1810.28	A
17	Sensor de faja rota Falso contacto	24	58852.51	19617.50	817.40	C
18	Reservorio de aceite Lubricacion	41	47825.85	15941.95	388.83	C
19	Polines y bastidores Dañado	14	37683.34	12561.11	897.22	C
20	Falsa indicación	13	34690.83	11563.61	889.51	C

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17 Parámetros para formar los cuadrantes del diagrama Jack Knife.

Q	N	C	C/N	N/Q
82	933	1125494.44	1206.32	11.38

Fuente: Elaboración propia.

Para este análisis, se obtiene de la base de datos de la minera el impacto económico de tener un equipo fuera de servicio por cada fallo, y se calcula el MCTR, como se puede apreciar en la Tabla 16. Luego se procede a realizar el cálculo para determinar los límites del análisis de dispersión para identificar los fallos más relevantes. En la Figura 45, se puede identificar 4 fallos críticos para el negocio que se encuentran en la zona Aguda – Crónica (AC).

También podemos ver, en la Figura 45, que tenemos dos fallos importantes, una en la zona “Aguda” y otra en la zona “Crónica”; para este análisis es recomendable identificarlos ya que están generando altos costos en uno y altos números de paradas en otro.

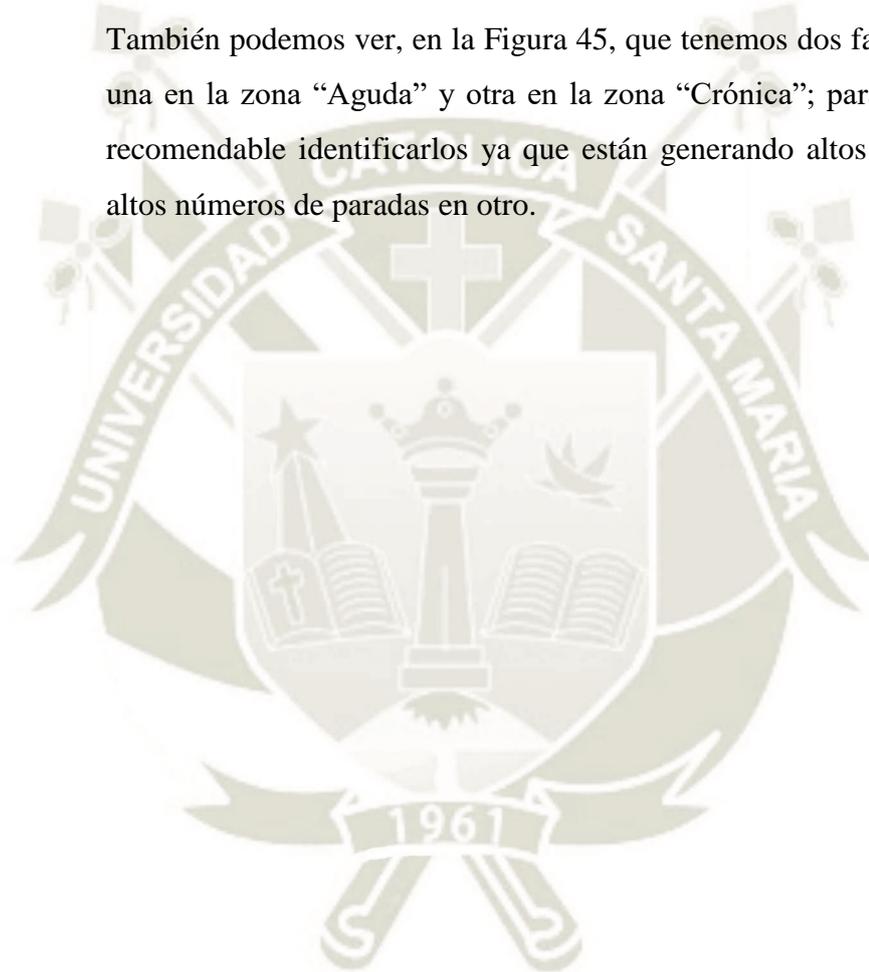
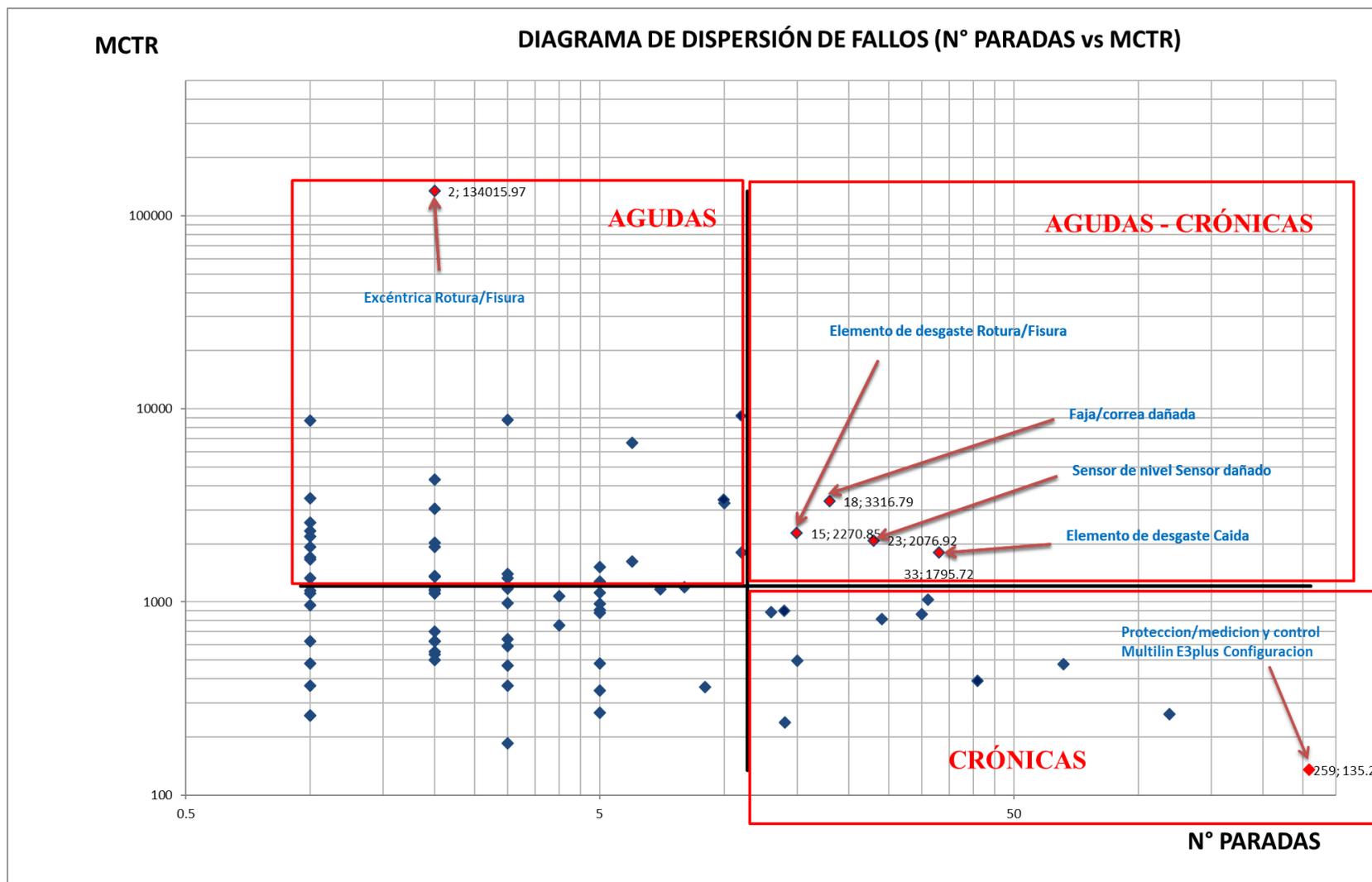


Figura 45 Diagrama de Dispersión de Fallos N° Paradas vs MCTR.



Fuente: Elaboración propia.

3.7.1.3. Fallos Críticos

Finalmente, luego de los análisis realizados, podemos determinar los fallos críticos que tiene el área de chancado primario.

En el diagrama de dispersión del MTTR se identificaron 5 fallos críticos y en el diagrama de dispersión de costo se identificaron 4 fallos críticos para el negocio que se encuentran en la zona Aguda – Crónica (AC), pero también, para este estudio, vamos a tomar en cuenta 2 fallos adicionales, la más aguda (A) y la más crónica (C) del diagrama de dispersión de costo. En total tenemos 7 fallos críticos y se muestran en la siguiente Tabla 18 la cual se asignará para cada una de ellas un caso de estudio.

Tabla 18 Modos de Fallo y Componentes Críticos para el estudio.

CASO DE ESTUDIO	FALLO	EQUIPO	SISTEMA	COMPONENTE
1.1	Excéntrica Rotura/Fisura	CR001	Transmisión y Eje Principal	Excéntrica
2.1	Elemento de desgaste (Manto) Caída	CR001	Desgaste	Mantos
3.1	Sensor de nivel Sensor dañado	CR001	Instrumentación	Sensor de Nivel
4.1	Elemento de desgaste Caída	FE001, CV001, CV002	Chutes de carga	Elementos de desgaste
4.2	Elemento de desgaste Rotura/Fisura	FE001, CV001, CV002	Chutes de carga	Elementos de desgaste
5.1	Faja/correa dañada	CV001, CV002	Transporte	Faja
6.1	Polines y bastidores dañado	CV001, CV002	Transporte	Polines / Bastidores
7.1	Proteccion/medicion y control Multilin E3plus Configuracion	CR001	Control	Multilin E3plus

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Tabla 21, se mencionan los fallos críticos (identificados con el análisis de los diagramas de dispersión) junto con los componentes, sistemas y equipos donde pertenecen.

Para el estudio vamos a trabajar con los componentes que presentaron dichos fallos; de esta manera analizaremos mejor el comportamiento de cada componente para identificar sus modos de fallo y poder tomar acciones de mejora.

3.8. HISTORIAL DE FALLOS

En las siguientes Tablas 19, 20, 21, 22, 23, 24 y 25 se señalan las distintas fallas en las que se ha requerido el cambio de componente de los casos de estudio identificados en los diagramas de dispersión (para esto se ha revisado los datos recolectados del histórico de fallos y se han identificado con personal de la empresa minera), la duración de la falla y si la falla ocasiono o no la detención del equipo.

Además, se señalará el costo por pérdida de producción que generaron dichas fallas.

3.8.1. Historial de fallas caso 1.1 (excéntrica).

Tabla 19 Historial de fallos de la excéntrica.

FECHA		DURACIÓN (HORAS)	ESTADO DE EQUIPO	COSTO DE FALLA (CF)
INICIO	FIN			
24/09/2014 07:00	24/09/2014 21:07	14.12	Detenido	\$93,875.83
25/09/2014 21:31	30/09/2014 08:19	106.80	Detenido	\$710,220.00

Fuente: Elaboración propia.

3.8.2. Historial de fallas caso 2.1 (Mantos).

Tabla 20 Historial de fallos de los mantos.

FECHA		DURACIÓN (HORAS)	ESTADO DE EQUIPO	COSTO DE FALLA (CF)
INICIO	FIN			
16/04/2013 12:49	16/04/2013 21:53	9.07	Detenido	\$60,293.33
27/05/2013 14:00	28/05/2013 14:29	24.48	Detenido	\$162,814.17
9/07/2013 18:20	10/07/2013 12:48	18.47	Detenido	\$122,803.33
7/08/2013 10:18	8/08/2013 12:20	26.03	Detenido	\$173,121.67
19/08/2013 20:54	19/08/2013 20:57	0.05	Detenido	\$332.50

Fuente: Elaboración propia.

3.8.3. Historial de fallas caso 3.1 (Sensor de nivel).

Tabla 21 Historial de fallos del sensor de nivel.

FECHA		DURACIÓN (HORAS)	ESTADO DE EQUIPO	COSTO DE FALLA (CF)
INICIO	FIN			
11/02/2013 16:45	11/02/2013 16:56	0.18	Detenido	\$1,219.17
11/02/2013 17:09	11/02/2013 17:23	0.23	Detenido	\$1,551.67
17/05/2013 20:26	17/05/2013 20:30	0.07	Detenido	\$443.33
19/05/2013 22:45	19/05/2013 22:53	0.13	Detenido	\$886.67
21/05/2013 08:04	21/05/2013 08:05	0.02	Detenido	\$110.83
21/05/2013 10:58	21/05/2013 11:00	0.03	Detenido	\$221.67
31/05/2013 04:29	31/05/2013 04:33	0.07	Detenido	\$443.33
9/06/2013 18:24	9/06/2013 18:26	0.03	Detenido	\$221.67
10/06/2013 16:28	10/06/2013 16:30	0.03	Detenido	\$221.67
26/06/2013 05:05	26/06/2013 05:08	0.05	Detenido	\$332.50
8/07/2013 06:36	8/07/2013 06:38	0.03	Detenido	\$221.67
28/07/2013 05:36	28/07/2013 05:54	0.30	Detenido	\$1,995.00
11/09/2013 16:58	11/09/2013 17:00	0.03	Detenido	\$221.67
12/09/2013 07:56	12/09/2013 08:01	0.08	Detenido	\$554.17
12/09/2013 08:18	12/09/2013 08:20	0.03	Detenido	\$221.67
28/09/2013 08:22	28/09/2013 08:27	0.08	Detenido	\$554.17
8/10/2014 13:13	8/10/2014 13:33	0.33	Detenido	\$2,216.67
8/10/2014 13:54	9/10/2014 08:43	18.82	Detenido	\$125,130.83
10/10/2014 03:00	10/10/2014 03:04	0.07	Detenido	\$443.33

Fuente: Elaboración propia.

3.8.4. Historial de fallas caso 4.1 (elemento de desgaste por caída).

Tabla 22 Historial de fallos de elementos de desgaste por caída.

FECHA		DURACIÓN (HORAS)	ESTADO DE EQUIPO	COSTO DE FALLA (CF)
INICIO	FIN			
21/08/2012 15:54	21/08/2012 16:17	0.38	Detenido	\$2,549.17
7/10/2012 23:53	8/10/2012 00:31	0.63	Detenido	\$4,211.67
22/10/2012 15:45	22/10/2012 16:00	0.25	Detenido	\$1,662.50
23/10/2012 21:51	23/10/2012 21:55	0.07	Detenido	\$443.33
24/10/2012 23:07	25/10/2012 00:08	1.02	Detenido	\$6,760.83
26/10/2012 15:49	26/10/2012 17:02	1.22	Detenido	\$8,090.83
28/10/2012 13:19	28/10/2012 13:24	0.08	Detenido	\$554.17
28/10/2012 13:37	28/10/2012 13:40	0.05	Detenido	\$332.50
28/10/2012 15:20	28/10/2012 15:22	0.03	Detenido	\$221.67
28/10/2012 15:49	28/10/2012 16:03	0.23	Detenido	\$1,551.67

8/03/2013 10:38	8/03/2013 12:35	1.95	Detenido	\$12,967.50
24/05/2013 13:29	24/05/2013 16:19	2.83	Detenido	\$18,841.67
28/05/2013 15:13	28/05/2013 16:27	1.23	Detenido	\$8,201.67
28/10/2013 03:40	28/10/2013 03:48	0.13	Detenido	\$886.67
28/10/2013 11:17	28/10/2013 13:29	2.20	Detenido	\$14,630.00
31/10/2013 11:53	31/10/2013 11:59	0.10	Detenido	\$665.00
31/10/2013 15:57	31/10/2013 16:13	0.27	Detenido	\$1,773.33
1/11/2013 11:28	1/11/2013 14:35	3.12	Detenido	\$20,725.83
2/11/2013 13:19	2/11/2013 14:19	1.00	Detenido	\$6,650.00
4/11/2013 15:50	4/11/2013 16:12	0.37	Detenido	\$2,438.33
4/04/2014 00:47	4/04/2014 01:42	0.92	Detenido	\$6,095.83
11/04/2014 10:12	11/04/2014 13:33	3.35	Detenido	\$22,277.50
2/06/2014 10:10	2/06/2014 10:57	0.78	Detenido	\$5,209.17
1/09/2014 13:05	1/09/2014 13:08	0.05	Detenido	\$332.50
1/09/2014 13:15	1/09/2014 13:30	0.25	Detenido	\$1,662.50
18/11/2014 15:33	18/11/2014 16:20	0.78	Detenido	\$5,209.17
23/11/2014 15:30	23/11/2014 16:00	0.50	Detenido	\$3,325.00
25/11/2014 15:28	25/11/2014 16:19	0.85	Detenido	\$5,652.50
26/11/2014 06:20	26/11/2014 06:44	0.40	Detenido	\$2,660.00
26/11/2014 09:29	26/11/2014 10:05	0.60	Detenido	\$3,990.00
26/11/2014 15:35	26/11/2014 17:26	1.85	Detenido	\$12,302.50
2/04/2015 11:16	2/04/2015 13:16	2.00	Detenido	\$13,300.00
23/04/2015 14:32	23/04/2015 16:02	1.50	Detenido	\$9,975.00

Fuente: Elaboración propia.

3.8.5. Historial de fallas caso 4.2 (elemento de desgaste por rotura y fisura).

Tabla 23 Historial de fallos de elementos de desgaste por rotura y fisura.

FECHA		DURACIÓN (HORAS)	ESTADO DE EQUIPO	COSTO DE FALLA (CF)
INICIO	FIN			
6/08/2012 11:08	6/08/2012 11:45	0.62	Detenido	\$4,100.83
14/08/2012 13:50	14/08/2012 16:37	2.78	Detenido	\$18,509.17
17/08/2012 10:27	17/08/2012 10:53	0.43	Detenido	\$2,881.67
17/09/2012 23:50	18/09/2012 00:16	0.43	Detenido	\$2,881.67
17/10/2012 15:36	17/10/2012 16:03	0.45	Detenido	\$2,992.50
18/10/2012 23:51	19/10/2012 00:04	0.22	Detenido	\$1,440.83
20/10/2012 08:49	20/10/2012 08:50	0.02	Detenido	\$110.83
20/10/2012 09:20	20/10/2012 09:25	0.08	Detenido	\$554.17
20/10/2012 11:08	20/10/2012 12:11	1.05	Detenido	\$6,982.50
9/11/2013 15:19	9/11/2013 17:37	2.30	Detenido	\$15,295.00
11/11/2013 17:30	11/11/2013 18:14	0.73	Detenido	\$4,876.67

14/11/2013 23:31	15/11/2013 00:16	0.75	Detenido	\$4,987.50
16/03/2014 20:27	16/03/2014 20:54	0.45	Detenido	\$2,992.50
21/01/2015 15:04	21/01/2015 16:01	0.95	Detenido	\$6,317.50
22/01/2015 14:23	22/01/2015 18:37	4.23	Detenido	\$28,151.67

Fuente: Elaboración propia.

3.8.6. Historial de fallas caso 5.1 (fajas).

Tabla 24 Historial de fallos de las fajas.

FECHA		DURACIÓN (HORAS)	ESTADO DE EQUIPO	COSTO DE FALLA (CF)
INICIO	FIN			
27/08/2012 09:05	27/08/2012 09:49	0.73	Detenido	\$4,876.67
8/11/2012 15:27	8/11/2012 15:59	0.53	Detenido	\$3,546.67
29/12/2012 15:55	29/12/2012 16:06	0.18	Detenido	\$1,219.17
7/01/2013 08:56	7/01/2013 18:38	9.70	Detenido	\$64,505.00
19/05/2013 08:48	19/05/2013 08:58	0.17	Detenido	\$1,108.33
15/06/2013 12:54	15/06/2013 13:47	0.88	Detenido	\$5,874.17
26/08/2013 19:43	26/08/2013 20:07	0.40	Detenido	\$2,660.00

Fuente: Elaboración propia.

3.8.7. Historial de fallas caso 6.1 (Polines / bastidores).

Tabla 25 Historial de fallos de las fajas.

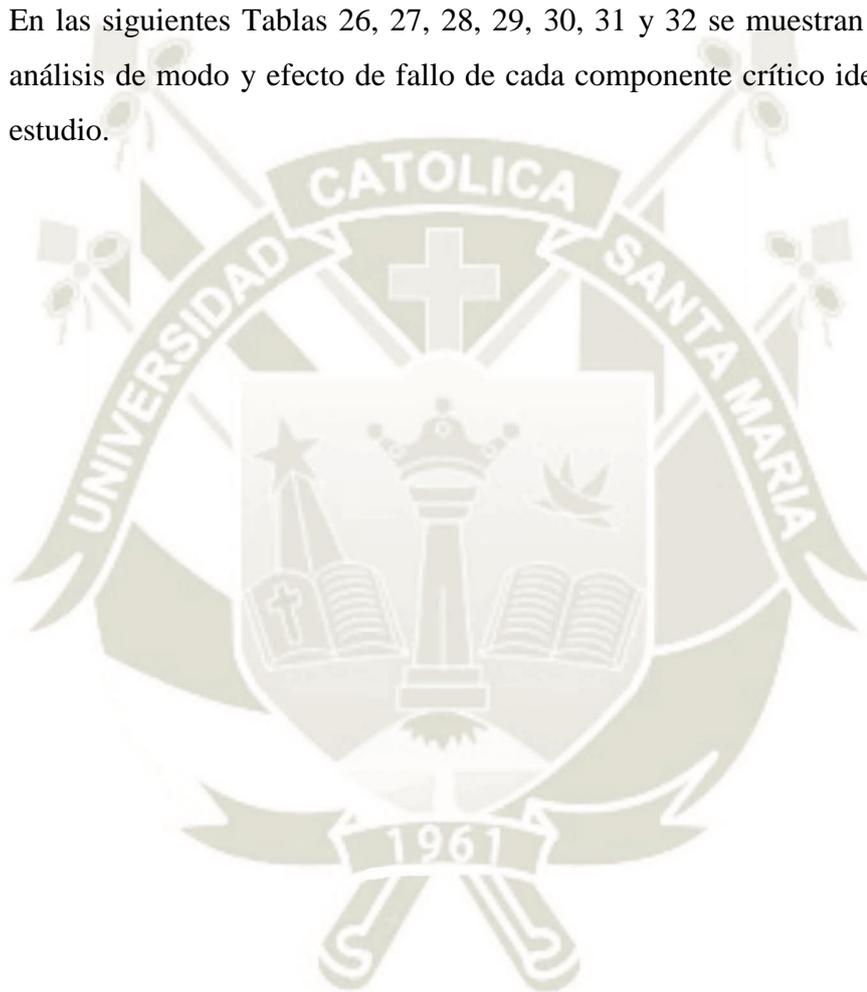
FECHA		DURACIÓN (HORAS)	ESTADO DE EQUIPO	COSTO DE FALLA (CF)
INICIO	FIN			
19/02/2012 15:53	19/02/2012 16:05	0.20	Detenido	\$1,330.00
5/03/2012 20:53	5/03/2012 21:25	0.53	Detenido	\$3,546.67
27/03/2012 12:29	27/03/2012 13:09	0.67	Detenido	\$4,433.33
10/03/2013 16:15	10/03/2013 16:35	0.33	Detenido	\$2,216.67
10/03/2013 16:37	10/03/2013 18:05	1.47	Detenido	\$9,753.33
22/05/2013 15:58	22/05/2013 17:13	1.25	Detenido	\$8,312.50
25/08/2013 03:43	25/08/2013 03:56	0.22	Detenido	\$1,440.83
11/12/2013 18:02	11/12/2013 18:54	0.87	Detenido	\$5,763.33
16/12/2013 15:49	16/12/2013 16:04	0.25	Detenido	\$1,662.50
8/01/2014 15:59	8/01/2014 16:19	0.33	Detenido	\$2,216.67
29/01/2014 16:15	29/01/2014 17:05	0.83	Detenido	\$5,541.67
27/03/2014 15:29	27/03/2014 15:59	0.50	Detenido	\$3,325.00
15/10/2014 15:47	15/10/2014 16:17	0.50	Detenido	\$3,325.00
21/12/2014 23:30	22/12/2014 00:46	1.27	Detenido	\$8,423.33

Fuente: Elaboración propia.

3.9. ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA (AMEF) DE LOS COMPONENTES CRÍTICOS

En este apartado estratificaremos la referencia de información para poder establecer las tareas propuestas mediante las hojas de información. Estas Hojas de Información se obtienen del desdoblamiento de las causas y modos de falla obtenidos en el AMEF.

En las siguientes Tablas 26, 27, 28, 29, 30, 31 y 32 se muestran el desarrollo del análisis de modo y efecto de fallo de cada componente crítico identificado para el estudio.



3.9.1. AMEF: Excéntrica

Tabla 26 AMEF Excéntrica y Tareas Propuestas.

HOJA DE INFORMACION RCM		ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA												
EQUIPO:		SISTEMA:		REALIZADO POR:	FECHA:	TAREAS PROPUESTAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO								
Chancadora Primaria		Transmisión		Gonzalo Escalante	2019									
CODIGO:		COMPONENTE:		REVISADO POR:	FECHA:									
CR001		Excéntrica		A. Cáceres	2019									
FUNCION		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFECTO Y CONSECUENCIA DE FALLA		TIPO DE MANTENIMIENTO	TAREA	FRECUENCIA	EQUIPOS	EN OPERACIÓN	DURACIÓN	A REALIZARSE POR:
1	Transmitir al eje principal una potencia de 250 a 300 KW	A	Transmite potencia menor a 250 KW	1	Rotura de dientes de la excéntrica por desalineamiento o backlash.	Si es evidente. No tiene consecuencias en M. A. ni en Seguridad. Descripción: El desalineamiento en el contraeje o mala calibración del backlash generan esfuerzos anormales en los dientes de engrane de la excéntrica provocando desgaste excesivo y/o rompimiento de dientes. Se presenta ruido y vibraciones anormales, el operario para el equipo. Pérdidas en la producción. Actividad: Cambio de excéntrica. Tiempo: El cambio dura aproximadamente 107 hrs. (ref. base de datos SAP) Costo Total: El costo/hora de pérdida de producción es de US \$ 6,650.00 apróx. (ref. base de datos SAP)	Tarea a Condición	Monitoreo por vibraciones del sistema de transmisión para identificar desalineamiento, mal backlash, etc. Alinear si es necesario.	2 semanas	Analizador de Vibraciones - Alineador Láser.	SI	2 hrs.	02 Técnicos Predictivo	
		B	No transmite potencia	1	Buje de excéntrica fracturado por falta de lubricación.	Si es evidente. No tiene consecuencias en M. A. ni en Seguridad. Descripción: La falta de lubricación generan desgaste y/o fracturas en los bujes de bronce de la excéntrica, ocasionando que no se pueda transmitir movimiento al mainshaft. El operador para el equipo. Pérdidas en la producción. Actividad: Cambio de bujes de excéntrica. Tiempo: EL tiempo es similar a un cambio de excéntrica 107 hrs. apróx. (ref. base de datos SAP) Costo Total: El costo/hora de pérdida de producción es de US \$ 6,650.00 apróx. (ref. base de datos SAP)	Tarea a Condición	Revisar sistema de lubricación; regular presiones, verificar presencia de fugas y estado de componentes. Ajustar / cambiar si es necesario.	1 mes		SI	1 hr.	02 Mecánicos	
2	Dar movimiento oscilatorio al eje principal de 0 a 1.5"	A	Movimiento oscilatorio no llega a 1.5"	1	Arrastre de excéntrica con mainshaft por mala lubricación en bujes de excéntrica con main shaft	Si es evidente. No tiene consecuencias en M. A. ni en Seguridad. Descripción: La falta de lubricación en los bujes de bronce de la excéntrica genera que exista un arrastre parcial de la excéntrica con el main shaft, provocando un movimiento incorrecto en el main shaft, y desgaste o daños en los bujes. Provoca mal funcionamiento de la chancadora, mal chancado y pérdida en la producción. Actividad: Revisar y reparar sistema de lubricación. Tiempo: No hay antecedentes en base de datos. Costo Total: El costo/hora de pérdida de producción es de US \$ 6,650.00 apróx. (ref. base de datos SAP)	Tarea a Condición	Revisar sistema de lubricación; regular presiones, verificar presencia de fugas y estado de componentes. Ajustar / cambiar si es necesario.	1 mes		SI	1 hr.	02 Mecánicos	
		B	No da movimiento oscilatorio	1	Buje deformado, quemado y unido (fusionado) con excéntrica y main shaft, por falta lubricación.	Si es evidente. No tiene consecuencias en M. A. ni en Seguridad. Descripción: Los bujes se fusionan con la excéntrica y el mainshaft por falta de lubricación, provocando que le mainshaft gire con la excéntrica en su totalidad. Provoca mal funcionamiento de la chancadora, mal chancado y pérdida de producción. Actividad: Cambio de bujes y excéntrica. Tiempo: EL tiempo es similar a un cambio de excéntrica 107 hrs. apróx. (ref. base de datos SAP) Costo Total: El costo/hora de pérdida de producción es de US \$ 6,650.00 apróx. (ref. base de datos SAP)	Tarea a Condición	Revisar sistema de lubricación; regular presiones, verificar presencia de fugas y estado de componentes. Ajustar / cambiar si es necesario.	1 mes		SI	1 hr.	02 Mecánicos	

Fuente: Elaboración propia.

3.9.2. AMEF: Mantos

Tabla 27 AMEF Mantos y Tareas Propuestas.

HOJA DE INFORMACION RCM		ANALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA Hoja de Informacion												
EQUIPO:	Chancadora Primaria	SISTEMA:	Desgaste	REALIZADO POR:	Gonzalo Escalante	FECHA:	2019	TAREAS PROPUESTAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO						
CODIGO:	CR001	COMPONENTE:	Mantos	REVISADO POR:	Mario Valencia	FECHA:	2019	TIPO DE MANTENIMIENTO	TAREA	FRECUENCIA	EQUIPOS	EN OPERACIÓN	DURACIÓN	A REALIZARSE POR:
1	Proteger la estructura del eje principal en el chancado en el proceso de trituración	A	No protege la estructura	1	Desgaste total de mantos	Si es evidente. No tiene consecuencias en M. A. ni en Seguridad. Descripción: Los mantos estan desgastados en su totalidad, al punto que ya no protegen la estructura del eje principal. Se para el equipo ya que la chancadora no puede trabajar sin mantos porque dañaria la estructura del eje principal. Se generan mayores paradas innecesarias y pérdida en la producción. Actividad: Cambio de Mantos Tiempo: Se requiere 1.5 hrs. apróx. su reinstalación. Costo Total: El costo/hora de pérdida de producción es de US \$ 6,650.00 apróx. (ref. base de datos SAP)	Preventivo	Realizar cambio de mantos de eje principal de Chancadora Primaria.	3 semanas		NO	6 hrs.	02 Mecánicos	
				2	Desprendimiento / Caída de mantos	Si es evidente. No tiene consecuencias en M. A. ni en Seguridad. Descripción: Los mantos se salieron de su posición y ya no protegen la estructura del eje principal. Se para el equipo ya que la chancadora no puede trabajar sin mantos porque dañaria la estructura del eje principal. Se generan mayores paradas innecesarias y pérdida en la producción. Actividad: Instalación de nuevos mantos. Tiempo: Se requiere 1.5 hrs. apróx. su reinstalación. Costo Total: El costo/hora de pérdida de producción es de US \$ 6,650.00 apróx. (ref. base de datos SAP)	Preventivo	Realizar cambio de mantos de eje principal de Chancadora Primaria.	3 semanas		NO	6 hrs.	02 Mecánicos	
		B	Proteje parcialmente	1	Rotura / Rajadura de mantos	Si es evidente. No tiene consecuencias en M. A. ni en Seguridad. Descripción: Los mantos presentan rajaduras o rutura y pueden desprenderse de su posición en cualquier momento, dejando sin protección la estructura del eje principal. Se para el equipo ya que la chancadora no puede trabajar con los mantos en ese estado porque dañaria la estructura del eje principal. Se generan mayores paradas innecesarias y pérdida en la producción. Actividad: cambio de mantos. Tiempo: Se requiere 1.5 hrs. apróx. su reinstalación. Costo Total: El costo/hora de pérdida de producción es de US \$ 6,650.00 apróx. (ref. base de datos SAP)	Preventivo	Realizar cambio de mantos de eje principal de Chancadora Primaria.	3 semanas		NO	6 hrs.	02 Mecánicos	
2	Dar el correcto Gap para la correcta trituración	A	Trituración deficiente	1	Desgaste elevado de mantos	Si es evidente. No tiene consecuencias en M. A. ni en Seguridad. Descripción: El desgaste elevado de los mantos hace que el gap de chancado aumente, provocando que el diámetro de las rocas que salen del chancado primario sean de mayor diámetro. Si el desgaste de lo mantos no es excesivo, el operador puede regular el gap con el sistema hidráulico de la chancadora. Actividad: Cambio de mantos. Tiempo: Se requiere 1.5 hr. apróx. para su cambio. Costo Total: El costo/hora de pérdida de producción es de US \$ 6,650.00 apróx. (ref. base de datos SAP)	Preventivo	Realizar cambio de mantos de eje principal de Chancadora Primaria.	3 semanas		NO	6 hrs.	02 Mecánicos	

Fuente: Elaboración propia.

3.9.3. AMEF: Sensor de Nivel

Tabla 28 AMEF Sensor de Nivel y Tareas Propuestas.

HOJA DE INFORMACION RCM		ANALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA Hoja de Informacion												
EQUIPO:	Chancadora Primaria	SISTEMA:	Instrumentación	REALIZADO POR:	Gonzalo Escalante	FECHA:	2019	TAREAS PROPUESTAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO						
CODIGO:	CR001	COMPONENTE:	Sensor de Nivel	REVISADO POR:	Mario Valencia	FECHA:	2019	TIPO DE MANTENIMIENTO	TAREA	FRECUENCIA	EQUIPOS	EN OPERACIÓN	DURACIÓN	A REALIZARSE POR:
1	Alertar el nivel máximo de la cámara de compensación de descarga	A	Envía señal de alerta errónea	1	Excesiva polución en la camara de compensación	Si es evidente. No tiene consecuencias en M. A. ni en Seguridad. Descripción: La excesiva polución que se genera por la descarga del mineral provoca que el sensor de ultrasonido se ensucie impidiendo que pueda captar el nivel máximo de la camara de compensación. Se genera alerta de nivel máximo en cámara de compensación y se para la chancadora; el operador verifica que no hay nivel máximo en la cámara de compensación entonces procede a resetear. Si son repetitivas las alertas, se para el equipo y se procede a verificar el estado del sensor visualmente. Pérdida en la producción. Actividad: Limpieza de sensor nivel. Tiempo: Se requiere 1 hr. apróx. para verificar y limpiar. Costo Total: El costo/hora de pérdida de producción es de US \$ 6,650.00 apróx. (ref. base de datos SAP)	Modificativo	Diseñar e implementar protección para el sensor de nivel para evitar la contaminación de polvo.	Planificado			NO	15 días	01 Ing. Mecánico de Proyectos
		B	No envia señal de alerta	1	Sensor dañado por golpes del mineral	Si es evidente. No tiene consecuencias en M. A. ni en Seguridad. Descripción: las rocas de mineral que ingresan en la cámara de compensación pueden indirectamente golpear y generar daños al sensor. El operador recibe la alerta de falla en sensor y se verifica daños por golpe. Se generan pérdidas de producción. Actividad: Cambio de sensor de nivel. Tiempo: Se requiere 2 hrs. apróx. para el cambio y verificación. Costo Total: El costo/hora de pérdida de producción es de US \$ 6,650.00 apróx. (ref. base de datos SAP)	Modificativo	Diseñar e implementar protección contra golpes de material para el sensor de nivel dentro de la cámara de compensación.	Planificado			NO	15 días	01 Ing. Mecánico de Proyectos

Fuente: Elaboración propia.

3.9.4. AMEF: Fajas Transportadoras

Tabla 29 AMEF Faja transportadora y Tareas Propuestas.

HOJA DE INFORMACION RCM		ANALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA												
EQUIPO:		SISTEMA:		REALIZADO POR:		FECHA:		TAREAS PROPUESTAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO						
Fajas Transportadoras		Transporte		Gonzalo Escalante		2019								
CODIGO:		COMPONENTE:		REVISADO POR:		FECHA:								
CV001, CV002		Faja		A. Cáceres		2019								
FUNCION		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFECTO Y CONSECUENCIA DE FALLA		TIPO DE MANTENIMIENTO	TAREA	FRECUENCIA	EQUIPOS	EN OPERACIÓN	DURACIÓN	A REALIZARSE POR:
1	Transportar el mineral de 5263 a 7500 TM/hr	A	No transporta el mineral	1	Corte transversal o longitudinal de faja.	Si es evidente. No tiene consecuencias en M. A. pero si en Seguridad. Descripción: La faja se corta transversalmente y se sale de la guía de las poleas y polines por pérdida de adhesión provocando caída de material. La alarma se enciende la alarma y el operador para el equipo. Se genera pérdida en la producción. Actividad: Reparación de faja. Tiempo: El tiempo de reparación depende la gravedad esta, la reparación más larga duro 9.7 hrs. apróx. (ref. base de datos SAP) Costo Total: El costo/hora de pérdida de producción es de US \$ 6,650.00 apróx. (ref. base de datos SAP)	Predictivo	- Monitorear desgaste de faja con ultrasonido. - Revisar faja; presencia de cortes y/o desgaste excesivo. Reacondicionar si es necesario.	2 semana	Medidor por ultrasonido Vulcanizador , Parches, Grampas	NO SI	4 hrs.	02 Técnicos Predictivo 02 Mecánicos	
				2	Levantamiento de faja.	Si es evidente. No tiene consecuencias en M. A. pero si en Seguridad. Descripción: La falta de tensión provoca un levantamiento en la faja, se pierde la adhesión con polines y poleas, y la faja empieza a tener deslizamientos. El materia cae y deja de ser transportado. La alarma se enciende y el operador para el motor de la faja. Se genera pérdida en la producción. Actividad: Verificar tensión y alineamiento de faja. Tiempo: El tiempo depende de la situación de la falla y de la habilidad del operador. Costo Total: El costo/hora de pérdida de producción es de US \$ 6,650.00 apróx. (ref. base de datos SAP)	Predictivo	Revisar tensión de fajas transportadoras. Ajustar tensión si es necesario.	2 semana		SI	1 hr.	02 Mecánicos	
				3	Desalineamiento total de faja	Si es evidente. No tiene consecuencias en M. A. pero si en Seguridad. Descripción: El desalineamiento total provoca que la faja se salga de la guía de los polineas y poleas, generando caída del material fuera de la faja y deje de ser transportado. La alarma se enciende y se para el motor de la faja. Se genera pérdida en la producción. Actividad: Alineamiento de faja. Tiempo: El tiempo depende de la situación de la falla y la habilidad del operador. Costo Total: El costo/hora de pérdida de producción es de US \$ 6,650.00 apróx. (ref. base de datos SAP)	Predictivo	Revisar alineamiento de fajas transportadoras. Alinear si es necesario.	2 semana		SI	0.5 hrs.	01 Mecánico	
				4	Corte de faja	Si es evidente. No tiene consecuencias en M. A. pero si en Seguridad. Descripción: Mayor tensión en la faja por polea tensora, provoca desgaste prematura y corte de la faja. El mineral se sale de la faja. La alarma se enciende y se para el motor de la faja. Se genera pérdida en la producción. Actividad: Reparación de faja. Tiempo: El tiempo de reparación depende la gravedad esta, la reparación más larga duro 9.7 hrs. apróx. (ref. base de datos SAP) Costo Total: El costo/hora de pérdida de producción es de US \$ 6,650.00 apróx. (ref. base de datos SAP)	Predictivo	Revisar tensión de fajas transportadoras. Ajustar tensión si es necesario.	2 semana		SI	1 hr.	02 Mecánicos	

		B	Transporte de mineral menor a 5263 TM/hr	1	Desalineamiento parcial de faja	<p>Si es evidente. No tiene consecuencias en M. A. pero si en Seguridad.</p> <p>Descripción: La faja se desalinea parcialmente provocando que parte del mineral se caiga y no sea transportado, como tambien un desgaste irregular en la faja. La alarma se enciende y se para el motor de la faja. Se genera pérdida en la producción.</p> <p>Actividad: Alineamiento de faja.</p> <p>Tiempo: El tiempo depende de la situación de la falla y la habilidad del operador.</p> <p>Costo Total: El costo/hora de pérdida de producción es de US \$ 6,650.00 apróx. (ref. base de datos SAP)</p>	Predictivo	Revisar alineamiento de fajas transportadoras. Alinear si es necesario.	2 semana		SI	0.5 hrs.	01 Mecánico
2	Ser flexible	A	Pérdida de flexibilidad	1	Endurecimiento y agrietamiento de la cubierta de la faja	<p>No es evidente. No tiene consecuencias en M. A. pero si en Seguridad.</p> <p>Descripción: El endurecimiento y agrietamiento de la faja por motivos de humedad del mineral, generan pérdida en su flexibilidad para poder trabajar, ocasionando posibles cortes prematuros y por lo tanto paradas de producción.</p> <p>Actividad: Planificar Cambio de faja.</p> <p>Tiempo: No hay antecedentes de este caso en la base de datos SAP de la empresa.</p> <p>Costo Total: El costo/hora de pérdida de producción es de US \$ 6,650.00 apróx. (ref. base de datos SAP)</p>	Predictivo	Inspeccionar visualmente endurecimiento y/o agrietamiento de las fajas transportadoras. Planificar cambio si es necesario.	2 semana		SI	0.5 hr.	01 Técnicos Predictivo
3	Mantener alineamiento	A	No se mantiene alineada	1	Poca adhesión de faja con poleas.	<p>No es evidente. No tiene consecuencias en M. A. pero si en Seguridad.</p> <p>Descripción: La faja pierde adhesión con la polea por la falta de tensión, provocando desalineamiento y deslizamientos. El desgaste de la faja no es uniforme. Posibles cortes prematuros y por lo tanto paradas en la producción.</p> <p>Actividad: Ajustar tensión de faja.</p> <p>Tiempo: El tiempo depende de la situación de la falla y la habilidad del operador.</p> <p>Costo Total: El costo/hora de pérdida de producción es de US \$ 6,650.00 apróx. (ref. base de datos SAP)</p>	Predictivo	Revisar tensión de fajas transportadoras. Ajustar tensión si es necesario.	2 semana		SI	1 hr.	02 Mecánicos

Fuente: Elaboración propia.

3.9.5. AMEF: Polines y Bastidores

Tabla 30 AMEF Polines y bastidores y Tareas Propuestas.

HOJA DE INFORMACIÓN RCM		ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA Hoja de Información												
EQUIPO:	Fajas Transportadoras	SISTEMA:	Transporte	REALIZADO POR:	Gonzalo Escalante	FECHA:	2019	TAREAS PROPUESTAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO						
CODIGO:	CV001, CV002	COMPONENTE:	Polines / Bastidores	REVISADO POR:	Mario Valencia	FECHA:	2019	TIPO DE MANTENIMIENTO	TAREA	FRECUENCIA	EQUIPOS	EN OPERACIÓN	DURACIÓN	A REALIZARSE POR:
1	Mantener el alineamiento y conservación de la faja	A	No mantiene el alineamiento y genera desgaste prematuro en faja	1	Desgaste o daño en polines	No es evidente. No tiene consecuencias en M. A. pero si en Seguridad. Descripción: El daño en los polines genera desgaste prematuro en la faja y puede generar corte o desalineamiento. Se genera pérdida en la producción. Actividad: Cambio de polines. Tiempo: Se requiere 2 hrs. apróx. para su cambio. Costo Total: El costo por pérdida de producción fue de US \$ 6650.00 apróx. (ref. base de datos SAP)	Tarea a Condición	Inspeccionar estado de polines; desgaste, daños, etc. Cambiar si es necesario.	1 semana		NO	2 hrs.	02 Mecánicos	
				2	Polines atascados	No es evidente. No tiene consecuencias en M. A. pero si en Seguridad. Descripción: Los polines atascados por daño interno en sus rodajes genera desgaste prematuro en la faja y puede generar corte o desalineamiento. Se genera pérdida en la producción. Actividad: Cambio de polines. Tiempo: Se requiere 2 hrs. apróx. para su cambio. Costo Total: El costo por pérdida de producción fue de US \$ 6650.00 apróx. (ref. base de datos SAP)	Tarea a Condición	Inspeccionar estado de polines; desgaste, daños, etc. Cambiar si es necesario.	1 semana		NO	2 hrs.	02 Mecánicos	
2	Soportar los golpes de descarga	A	No soporta los golpes de descarga	1	Bastidores dañados o en mal estado.	No es evidente. No tiene consecuencias en M. A. pero si en Seguridad. Descripción: Los golpes de la descarga dañan a los bastidores y puede generar daños en la faja. Se genera pérdida en la producción. Actividad: Cambio de polines y bastidores. Tiempo: Se requiere 3 hrs. apróx. para su cambio. Costo Total: El costo por pérdida de producción fue de US \$ 6650.00 apróx. (ref. base de datos SAP)	Tarea a Condición	Inspeccionar estado de bastidores de descarga; desgaste, daños, etc. Cambiar si es necesario.	1 semana		NO	2 hrs.	02 Mecánicos	
				2	Polines rotos	No es evidente. No tiene consecuencias en M. A. pero si en Seguridad. Descripción: Los golpes de la descarga dañan a los polines y puede generar daños en la faja. Se genera pérdida en la producción. Actividad: Cambio de polines. Tiempo: Se requiere 1 hrs. apróx. para su cambio. Costo Total: El costo por pérdida de producción fue de US \$ 6650.00 apróx. (ref. base de datos SAP)	Tarea a Condición	Inspeccionar estado de polines de descarga; desgaste, daños, etc. Cambiar si es necesario.	1 semana		NO	2 hrs.	02 Mecánicos	

Fuente: Elaboración propia.

3.9.6. AMEF: Elementos de Desgaste

Tabla 31 AMEF Elementos de Desgaste y Tareas Propuestas.

HOJA DE INFORMACION RCM		ANALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA Hoja de Informacion												
EQUIPO:	Feeder y Fajas	SISTEMA:	Chutes de carga	REALIZADO POR:	Gonzalo Escalante	FECHA:	2019	TAREAS PROPUESTAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO						
CODIGO:	FE001, CV001, CV002	COMPONENTE:	Elementos de desgaste	REVISADO POR:	Mario Valencia	FECHA:	2019	TIPO DE MANTENIMIENTO	TAREA	FRECUENCIA	EQUIPOS	EN OPERACIÓN	DURACIÓN	A REALIZARSE POR:
1	Proteger la estructura de los chutes	A	No protege la estructura	1	Desprendimiento / Caída de elemento por falla en la sujeción	No es evidente. No tiene consecuencias en M. A. ni en Seguridad. Descripción: Una mala sujeción de los elementos de desgaste en la estructura de los chutes provoca que, por los golpes de material al pasar por el chute, se desprendan de su posición, dejando libre y sin protección la estructura del chute. Se para el equipo para nuevamente instalar correctamente los elementos de desgaste y así evitar daños en la estructura. Se genera pérdida de producción. Actividad: Reinstalar y realizar correcta sujeción en los elementos de desgaste. Tiempo: Depende de la cantidad de elementos de desgaste desprendidos. Costo Total: El costo/hora de pérdida de producción es de US \$ 6,650.00 apróx. (ref. base de datos SAP)	Tarea a Condición	Inspeccionar visualmente estado elementos de desgaste de chutes de carga. Reinstalar chutes desprendidos y/o cambiar los desgastados.	1 semana			NO	2 hrs.	02 Mecánicos
				2	Desgaste total del elemento	No es evidente. No tiene consecuencias en M. A. ni en Seguridad. Descripción: Los golpes y fricciones que se generan en los chutes de carga provocan desgaste en las planchas que protegen la estructura de los chutes, provocando que algunos de estos dejen sin protección a la estructura. Se para el equipo para la instalación de nuevos elementos de desgaste y así evitar daños en la estructura. Se genera pérdida de producción. Actividad: Cambio de elementos de desgaste. Tiempo: Depende de la cantidad de elementos de desgaste desgastados. Costo Total: El costo/hora de pérdida de producción es de US \$ 6,650.00 apróx. (ref. base de datos SAP)	Tarea a Condición	Inspeccionar visualmente estado elementos de desgaste de chutes de carga. Reinstalar chutes desprendidos y/o cambiar los desgastados.	1 semana			NO	2 hrs.	02 Mecánicos
		B	Protege parcialmente	1	Rotura / Rajadura del elemento	No es evidente. No tiene consecuencias en M. A. ni en Seguridad. Descripción: Los golpes y fricciones que se generan en los chutes de carga provocan rotura o rajaduras en las planchas que protegen la estructura de los chutes, provocando que algunos de estos puedan dejar sin protección a la estructura. Se para el equipo para la instalación de nuevos elementos de desgaste y así evitar daños en la estructura. Se genera pérdida de producción. Actividad: Cambio de elementos de desgaste. Tiempo: Depende de la cantidad de elementos de desgaste desgastados. Costo Total: El costo/hora de pérdida de producción es de US \$ 6,650.00 apróx. (ref. base de datos SAP)	Tarea a Condición	Inspeccionar visualmente estado elementos de desgaste de chutes de carga. Reinstalar chutes desprendidos y/o cambiar los desgastados.	1 semana			NO	2 hrs.	02 Mecánicos

Fuente: Elaboración propia.

3.9.7. AMEF: Multilin E3plus

Tabla 32 AMEF Multilin E3plus y Tareas Propuestas.

HOJA DE INFORMACION RCM		ANALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA Hoja de Informacion												
EQUIPO:	Chancadora Primaria	SISTEMA:	Control	REALIZADO POR:	Gonzalo Escalante	FECHA:	2019	TAREAS PROPUESTAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO						
CODIGO:	CR001	COMPONENTE:	Multilin E3plus	REVISADO POR:	Mario Valencia	FECHA:	2019	TIPO DE MANTENIMIENTO	TAREA	FRECUENCIA	EQUIPOS	EN OPERACIÓN	DURACIÓN	A REALIZARSE POR:
1	Controlar parámetros de funcionamiento de los equipos de chancado primario	A	No emite parámetros de control de lo equipos	1	Relay quemado por sobretensión o sobrecorrientes	Si es evidente. No tiene consecuencias en M. A. pero si en Seguridad. Descripción: Tensión o corrientes altas provocan que los relays del sistema de control se dañen, dejando que este ya no pueda controlar los parámetros de fucionamiento. Se activa la alarma de fallos del multilin. Pérdida en la producción. Actividad: Cambio de relay del sistema de Multilin E3plus. Tiempo: Se requiere 1.5 hrs. apróx. para su reparación. Costo Total: El costo/hora de pérdida de producción es de US \$ 6,650.00 apróx. (ref. base de datos SAP)	Modificativo	Rediseñar o actualizar el sistema de protección Multilink E3plus por una nueva versión.	Planificado			NO	30 días	01 Ing. Electrónico de Proyectos
				2	Falso contacto	Si es evidente. No tiene consecuencias en M. A. pero si en Seguridad. Descripción: Algún falso contacto en los circuitos del sitema de control multilin provocan pérdida de información sobre el control de parámetros de funcionamiento. Se activa la alarma de fallos del multilin, el operador verifica y reinicia el sistema para su configuración. Actividad: Verificar conexiones del sistema de Multilin E3plus.. Tiempo: Se requiere 1 hrs. apróx. para su configuración. Costo Total: El costo/hora de pérdida de producción es de US \$ 6,650.00 apróx. (ref. base de datos SAP)	Modificativo	Rediseñar o actualizar el sistema de protección Multilink E3plus por una nueva versión.	Planificado			NO	30 días	01 Ing. Electrónico de Proyectos
				3	Desconfiguración	Si es evidente. No tiene consecuencias en M. A. pero si en Seguridad. Descripción: Desconfiguración del sistema de control multilin provocan pérdida de información sobre el control de parámetros de funcionamiento. Se activa la alarma de fallos del multilin, el operador verifica y reinicia el sistema para su configuración. Actividad: Configuración del sistema de Multilin E3plus.. Tiempo: Se requiere 0.25 hrs. apróx. para su configuración. Costo Total: El costo/hora de pérdida de producción es de US \$ 6,650.00 apróx. (ref. base de datos SAP)	Modificativo	Rediseñar o actualizar el sistema de protección Multilink E3plus por una nueva versión.	Planificado			NO	30 días	01 Ing. Electrónico de Proyectos

Fuente: Elaboración propia.

3.10. DETERMINACIÓN DE TAREAS PROACTIVAS

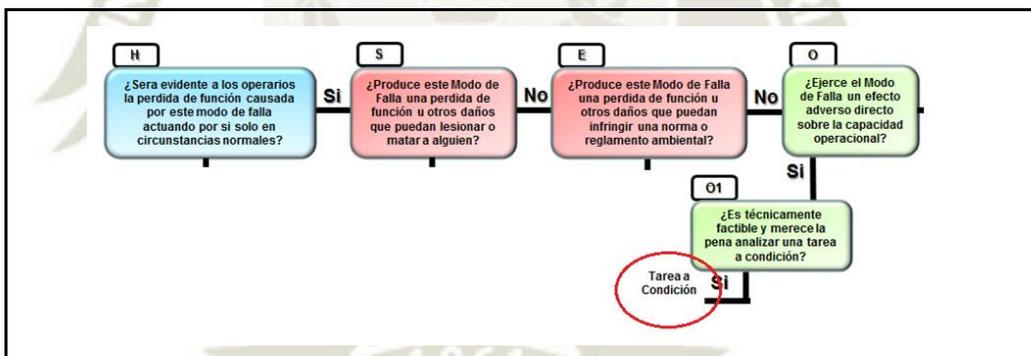
En esta parte vamos a utilizar el análisis de confiabilidad con distribución Weibull y el árbol lógico RCM para los casos de estudio identificados, para determinar el tipo de mantenimiento según la tasa de fallos (curva de la bañera) y la frecuencia máxima de las tareas según el análisis de confiabilidad.

3.10.1. Caso de estudio 1.1 (Excéntrica)

En este caso utilizaremos el árbol lógico de decisiones del RCM ya que sólo se cuenta con dos paradas y no son suficientes para hacer un análisis estadístico con Weibull.

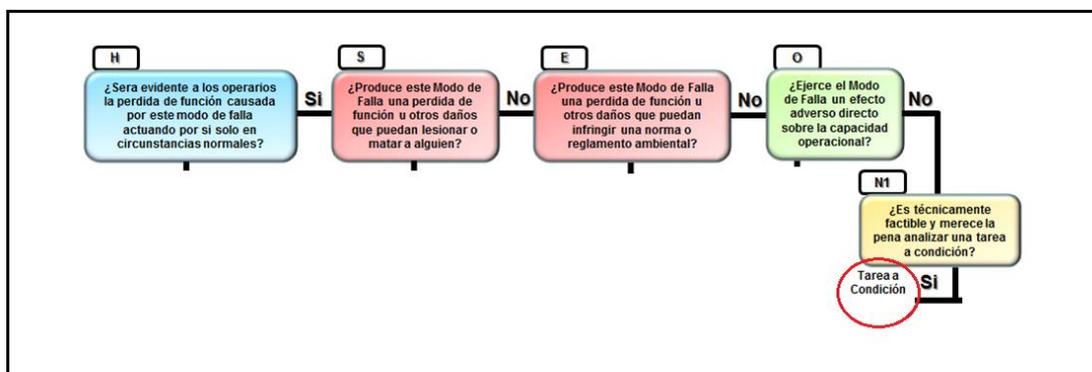
Analizaremos cada modo de falla del AMEF de la excéntrica con el árbol de decisiones del RCM (Figuras 46 y 47) para determinar el tipo de mantenimiento que se debe aplicar, la tarea propuesta y frecuencia o intervalo inicial de intervención, como se muestra en la Tabla 33.

Figura 46 Ruta del árbol de decisiones: AMEF Excéntrica 1A1.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 47 Ruta del árbol de decisiones: Excéntrica AMEF 1A2, 2A1 y 2B1.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 33 Hoja de Decisión: Excéntrica.

HOJA DE DECISIONES - ÁRBOL LÓGICO RCM - CASO 1.1																		
EQUIPO:			Chancadora Primaria				SISTEMA:			Transmisión			REALIZADO POR:		Gonzalo Escalante		FECHA:	2019
CODIGO:			CR001				COMPONENTE:			Excéntrica			REVISADO POR:		A. Cáceres		FECHA:	2019
REFERENCIA DEL AMEF			EVALUACIÓN DE CONSECUENCIAS				H1	H2	H3	ACCIÓN A FALTA DE			TIPO DE MANTENIMIENTO	TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL			
F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4						
							O1	O2	O3							N1	N2	N3
1	A	1	S	N	N	S	S						Tarea a Condición	Monitoreo por vibraciones del sistema de transmisión para identificar desalineamiento, mal backlash, etc. Alinear si es necesario.	14 días			
1	B	1	S	N	N	S	N	S					Tarea a Condición	Revisar sistema de lubricación; regular presiones, verificar presencia de fugas y estado de componentes. Ajustar / cambiar si es necesario.	30 días			
2	A	1	S	N	N	S	N	S					Tarea a Condición	Revisar sistema de lubricación; regular presiones, verificar presencia de fugas y estado de componentes. Ajustar / cambiar si es necesario.	30 días			
2	B	1	S	N	N	S	N	S					Tarea a Condición	Revisar sistema de lubricación; regular presiones, verificar presencia de fugas y estado de componentes. Ajustar / cambiar si es necesario.	30 días			

Fuente: Elaboración propia.

3.10.2. Caso de estudio 2.1 (Mantos)

En este caso utilizaremos el análisis estadístico Weibull ya que contamos con suficientes paradas de esta causa de fallo en la base de datos, previamente corroborados y seleccionados, para determinar el tipo de mantenimiento y la frecuencia o intervalo inicial para una confiabilidad mayor, para todos los modos de fallo del AMEF de los mantos de la chancadora primaria.

A continuación mostramos los tiempos entre fallos (TBF) de este caso de estudio y calculamos la probabilidad de fallo, en este caso contamos con 4 muestras mostradas en la siguiente Tabla 34.

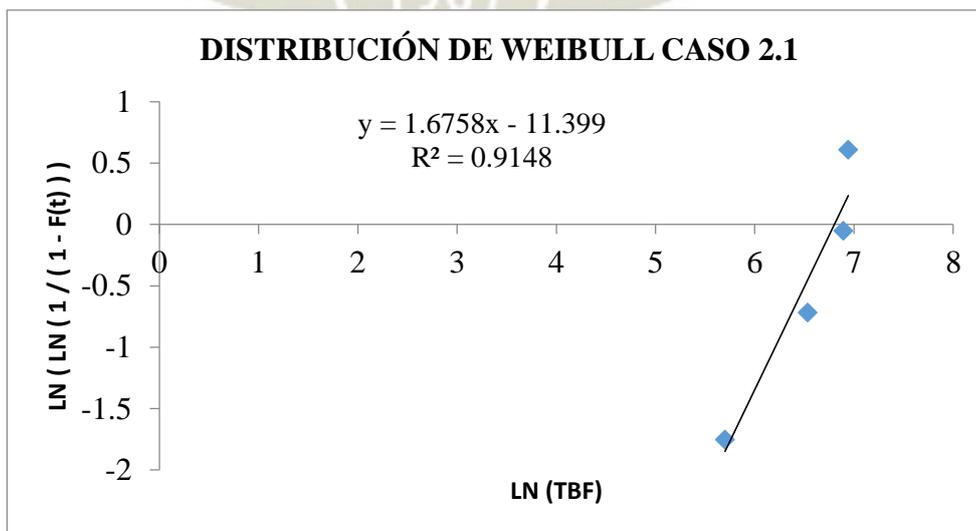
Tabla 34 Tiempo entre fallos y probabilidad de fallo: Caso de estudio 2.1.

Fallo	TBF (horas)	F(t) (%)
1	298.60	0.16
2	687.97	0.39
3	985.18	0.61
4	1036.33	0.84

Fuente: Elaboración propia.

Graficamos los puntos en el papel de Weibull y verificamos si representan una tendencia lineal para poder determinar los parámetros de Weibull correctamente. En la Figura 48, se puede verificar que la distribución corresponde a una tendencia lineal.

Figura 48 Distribución Weibull: Caso de estudio 2.1.



Fuente: Elaboración propia

Habiendo corroborado la tendencia lineal, procedemos a calcular los parámetros de Weibull, mostrados en la siguiente Tabla 35.

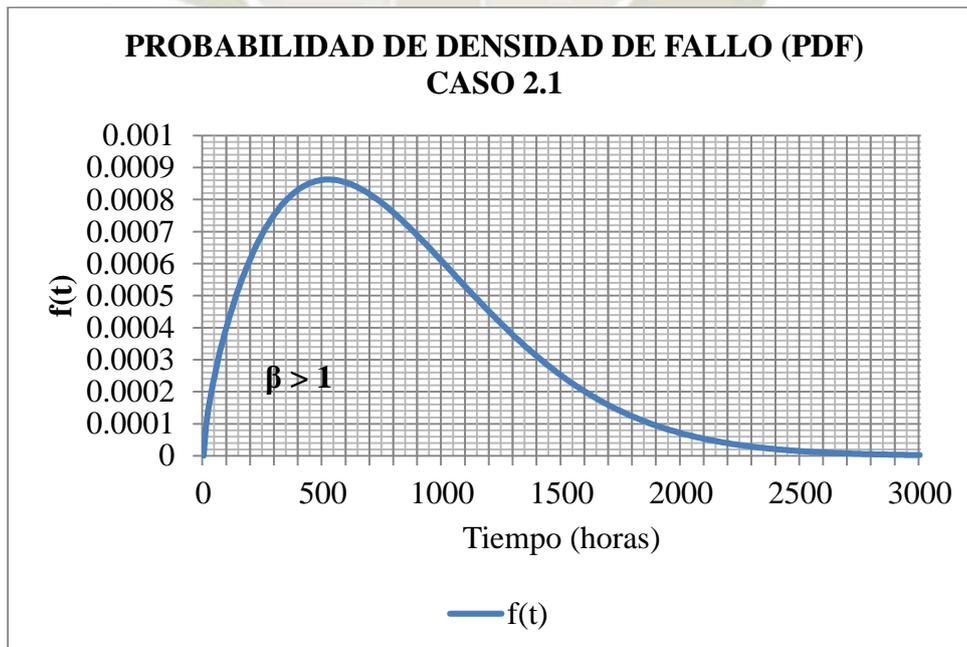
Tabla 35 Parámetros Weibull: Caso de estudio 2.1.

PARÁMETROS WEIBULL CASO 2.1	
Pendiente	1.6758
Ordenada	-11.3995
R2	0.9148
β	1.68
η (horas)	899.98
γ (horas)	0.00
A	0.8932
B	0.5479
MTBF (horas)	803.82
σ (horas)	493.09

Fuente: Elaboración propia.

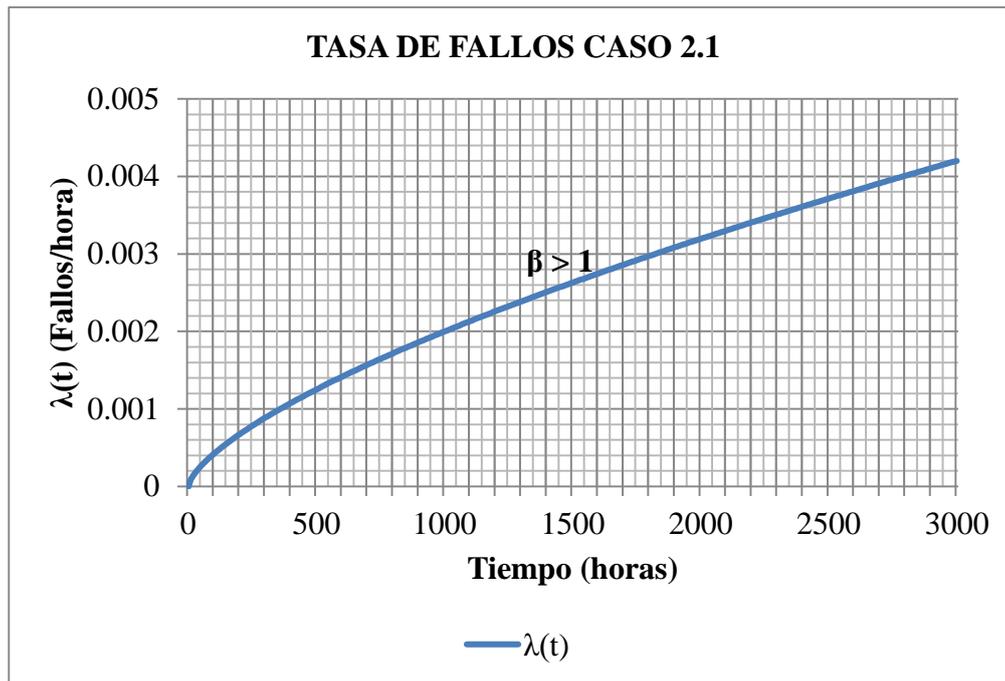
Con los parámetros calculados procedemos a calcular y graficar la probabilidad de densidad de fallo (Figura 49), tasa de fallos (Figura 50) y confiabilidad (Figura 51). Con estas graficamos determinaremos el tipo de mantenimiento a utilizar y la frecuencia máxima.

Figura 49 Probabilidad de Densidad de Fallo: Caso de estudio 2.1.



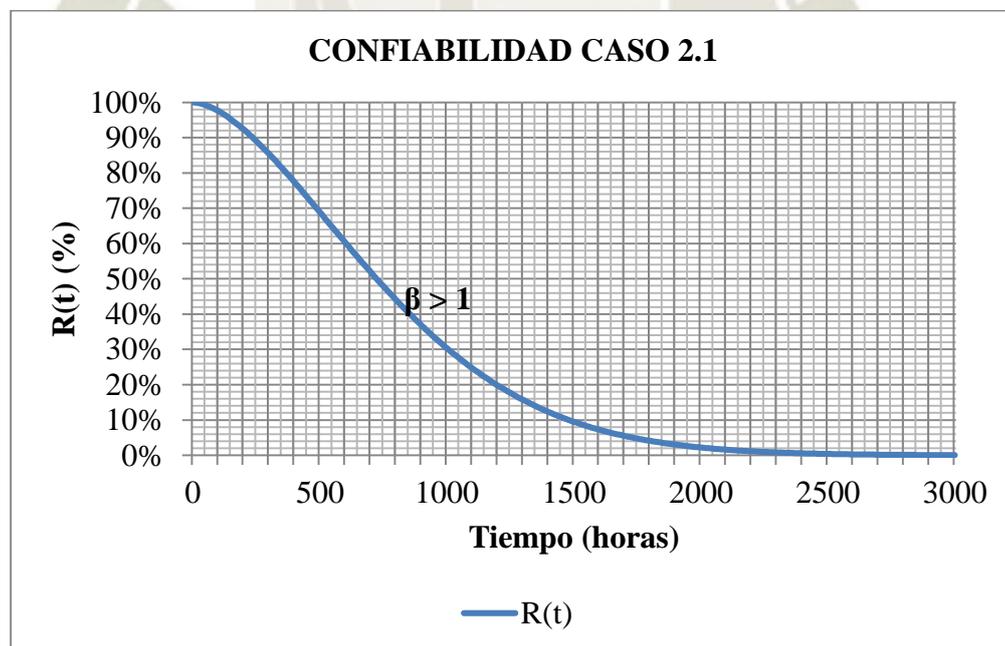
Fuente: Elaboración propia.

Figura 50 Tasa de fallos: Caso de estudio 2.1.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 51 Confiabilidad: Caso de estudio 2.1.



Fuente: Elaboración propia.

Podemos observar en la Figura 50 que tenemos una tasa de fallos dependiente del tiempo, por lo tanto, se recomienda realizar un mantenimiento preventivo.

La frecuencia recomendada para realizar el cambio preventivo estará dada según la confiabilidad que deseemos. Inicialmente, este componente es cambiado preventivamente a los 2 meses (1500 hrs), y según la Figura 51, la confiabilidad era de 10%. Por lo tanto, ahora vamos a proponer cambiar este componente cada 500 horas o 21 días para obtener una confiabilidad del 70%.

Por lo tanto, según lo obtenido con el análisis Weibull, determinamos las tareas propuestas con su intervalo inicial en la Tabla 36.



Tabla 36 Hoja de Decisiones: Caso de estudio 2.1.

HOJA DE DECISIONES - ANÁLISIS WEIBULL - CASO 2.1												
EQUIPO:		Chancadora Primaria		SISTEMA:	Desgaste		REALIZADO POR:	Gonzalo Escalante		FECHA:	2019	
CODIGO:		CR001		COMPONENTE:	Mantos		REVISADO POR:	Mario Valencia		FECHA:	2019	
REFERENCIA DEL AMEF			TIPO DE MANTENIMIENTO	CONFIABILIDAD DESEADA	TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL						
F	FF	FM										
1	A	1	Preventivo	70%	Realizar cambio de mantos de eje principal de Chancadora Primaria.	21 días						
1	A	2	Preventivo	70%	Realizar cambio de mantos de eje principal de Chancadora Primaria.	21 días						
1	B	1	Preventivo	70%	Realizar cambio de mantos de eje principal de Chancadora Primaria.	21 días						
2	A	1	Preventivo	70%	Realizar cambio de mantos de eje principal de Chancadora Primaria.	21 días						

Fuente: Elaboración propia.

3.10.3. Caso de estudio 3.1 (Sensor de Nivel)

En este caso utilizaremos el análisis estadístico Weibull ya que contamos con suficientes paradas de esta causa de fallo en la base de datos, previamente corroborados y seleccionados, para determinar el tipo de mantenimiento y la frecuencia o intervalo inicial para una confiabilidad mayor, para todos los modos de fallo del AMEF del sensor de nivel de la chancadora primaria.

A continuación mostramos los tiempos entre fallos (TBF) de este caso de estudio y calculamos la probabilidad de fallo, en este caso contamos con 18 muestras mostrados en la siguientes Tabla 37.

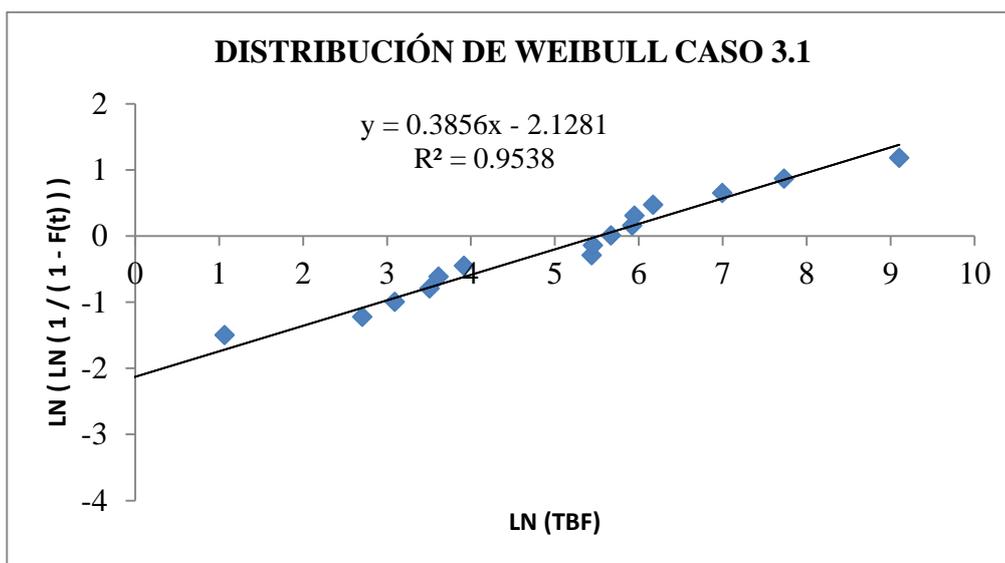
Tabla 37 Tiempo entre fallos y probabilidad de fallo: Caso de estudio 3.1.

Fallo	TBF (horas)	F(t) (%)
1	0.37	0.04
2	0.40	0.09
3	0.68	0.15
4	2.90	0.20
5	14.97	0.26
6	22.07	0.31
7	33.32	0.36
8	37.10	0.42
9	50.32	0.47
10	229.92	0.53
11	233.52	0.58
12	289.52	0.64
13	372.62	0.69
14	384.07	0.74
15	479.00	0.80
16	1091.37	0.85
17	2283.28	0.91
18	9004.85	0.96

Fuente: Elaboración propia.

Graficamos los puntos en el papel de Weibull y verificamos si representan una tendencia lineal para poder determinar los parámetros de Weibull correctamente. En la Figura 52 se puede verificar que la distribución corresponde a una tendencia lineal.

Figura 52 Distribución Weibull: Caso de estudio 3.1.



Fuente: Elaboración propia.

Habiendo corroborado la tendencia lineal, procedemos a calcular los parámetros de Weibull, mostrados en la siguiente Tabla 38.

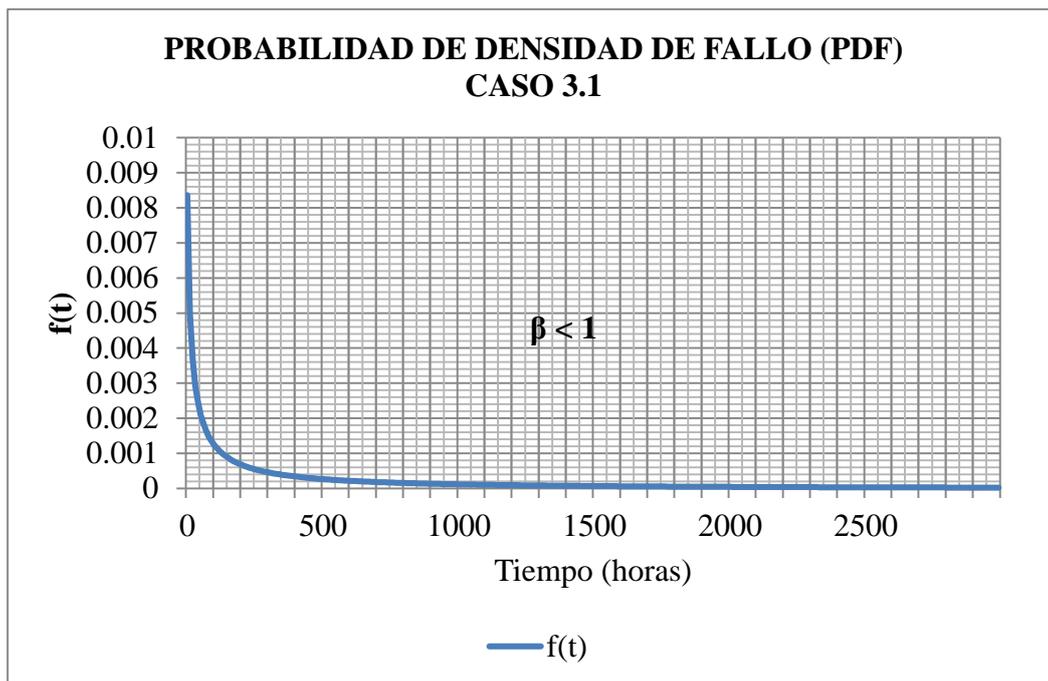
Tabla 38 Parámetros Weibull: Caso de estudio 3.1.

PARÁMETROS WEIBULL CASO 3.1	
Pendiente	0.3856
Ordenada	-2.1281
R2	0.9538
β	0.39
η (horas)	249.17
γ (horas)	0.00
A	3.6878
B	12.3189
MTBF (horas)	918.90
σ (horas)	3069.52

Fuente: Elaboración propia.

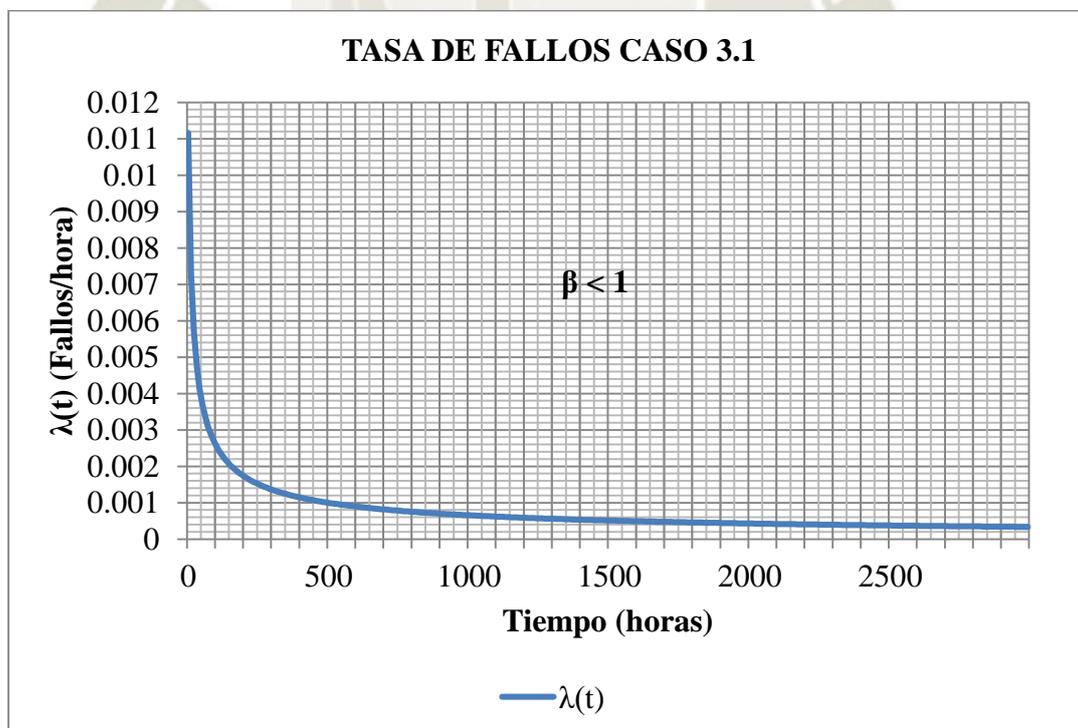
Con los parámetros calculados procedemos a calcular y graficar la probabilidad de densidad de fallo (Figura 53), tasa de fallos (Figura 54) y confiabilidad (Figura 55). Con estas gráficas determinaremos el tipo de mantenimiento a utilizar y la frecuencia máxima.

Figura 53 Probabilidad de Densidad de Fallo: Caso de estudio 3.1.



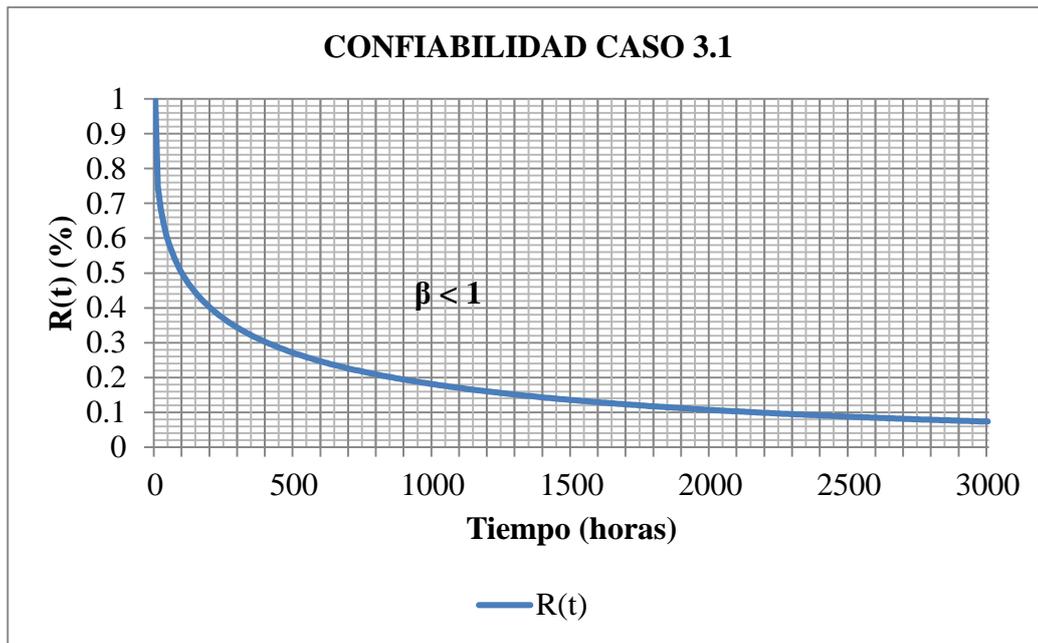
Fuente: Elaboración propia.

Figura 54 Tasa de fallos: Caso de estudio 3.1.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 55 Confiabilidad: Caso de estudio 3.1.



Fuente: Elaboración propia.

Podemos observar en la Figura 54 que tenemos una alta tasa de fallos en la vida inicial del componente, por lo tanto, se recomienda realizar un mantenimiento modificativo, quiere decir que se requiere realizar una modificación al componente o su estructura.

Se recomienda realizar la modificación o mejora de este componente inmediatamente, para evitar tener nuevamente las mismas paradas.

Por lo tanto, según lo obtenido con el análisis Weibull, determinamos las tareas propuestas con su intervalo inicial en la Tabla 39.

Tabla 39 Hoja de decisiones: Caso de estudio 2.1.

HOJA DE DECISIONES - ANÁLISIS WEIBULL - CASO 3.1									
EQUIPO:		Chancadora Primaria		SISTEMA:	Instrumentación	REALIZADO POR:	Gonzalo Escalante	FECHA:	2019
CODIGO:		CR001		COMPONENTE:	Sensor de Nivel	REVISADO POR:	Mario Valencia	FECHA:	2019
REFERENCIA DE			TIPO DE MANTENIMIENTO	CONFIABILIDAD DESEADA	TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL			
F	FF	FM							
1	A	1	Modificativo	Por analizar	Diseñar e implementar protección para el sensor de nivel para evitar la contaminación de polvo.	Inmediato			
1	B	1	Modificativo	Por analizar	Diseñar e implementar protección contra golpes de material para el sensor de nivel dentro de la cámara de compensación.	Inmediato			

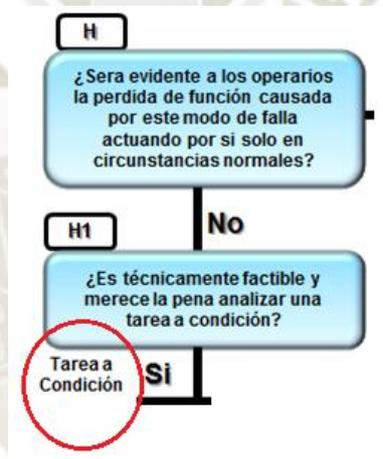
Fuente: Elaboración propia.

3.10.4. Caso de estudio 4.1 y 4.2 (Elementos de Desgaste)

En este caso utilizaremos el árbol lógico de decisiones del RCM, ya que a pesar de que contamos con cantidad importante de paradas por esta causa de fallo, no podemos saber cuántos de estos pertenecen a un solo elemento, y no se podría saber su comportamiento real de este componente con el análisis estadístico Weibull.

Analizaremos cada modo de falla del AMEF de los elementos de desgaste con el árbol de decisiones del RCM (Figura 56) para determinar el tipo de mantenimiento que se debe aplicar. Luego, determinaremos una frecuencia o intervalo inicial de intervención, que se muestra en la Fabela 40.

Figura 56 Ruta del árbol de decisiones: AMEF Elementos de Desgaste 1A1, 1A2 y 1B1.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 40 Hoja de Decisión: Elementos de Desgaste.

HOJA DE DECISIONES - ÁRBOL LÓGICO RCM - CASO 4.1 Y 4.2																		
EQUIPO:			Feeder y Fajas				SISTEMA:			Chutes de carga			REALIZADO POR:		Gonzalo Escalante		FECHA:	2019
CODIGO:			FE001, CV001, CV002				COMPONENTE:			Elem. Desgaste			REVISADO POR:		Mario Valencia		FECHA:	2019
REFERENCIA DE			EVALUACIÓN DE CONSECUENCIAS				H1 H2 H3 S1 S2 S3			ACCIÓN A FALTA DE			TIPO DE MANTENIMIENTO		TAREA PROPUESTA		INTERVALO INICIAL	
F	FF	FM	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	S4						
1	A	1	N				S						Tarea a Condición	Inspeccionar visualmente estado elementos de desgaste de chutes de carga. Reinstalar chutes desprendidos y/o cambiar los desgastado.		7 días		
1	A	2	N				S						Tarea a Condición	Inspeccionar visualmente estado elementos de desgaste de chutes de carga. Reinstalar chutes desprendidos y/o cambiar los desgastado.		7 días		
1	B	1	N				S						Tarea a Condición	Inspeccionar visualmente estado elementos de desgaste de chutes de carga. Reinstalar chutes desprendidos y/o cambiar los desgastado.		7 días		

Fuente: Elaboración propia.

3.10.5. Caso de estudio 5.1 (Faja)

En este caso utilizaremos el análisis estadístico Weibull ya que contamos con suficientes paradas de esta causa de fallo en la base de datos, previamente corroborados y seleccionados, para determinar el tipo de mantenimiento y la frecuencia o intervalo inicial para una confiabilidad mayor, para todos los modos de fallo del AMEF de las fajas.

A continuación mostramos los tiempos entre fallos (TBF) de este caso de estudio y calculamos la probabilidad de fallo, en este caso contamos con 6 muestras mostrados en la siguiente Tabla 41.

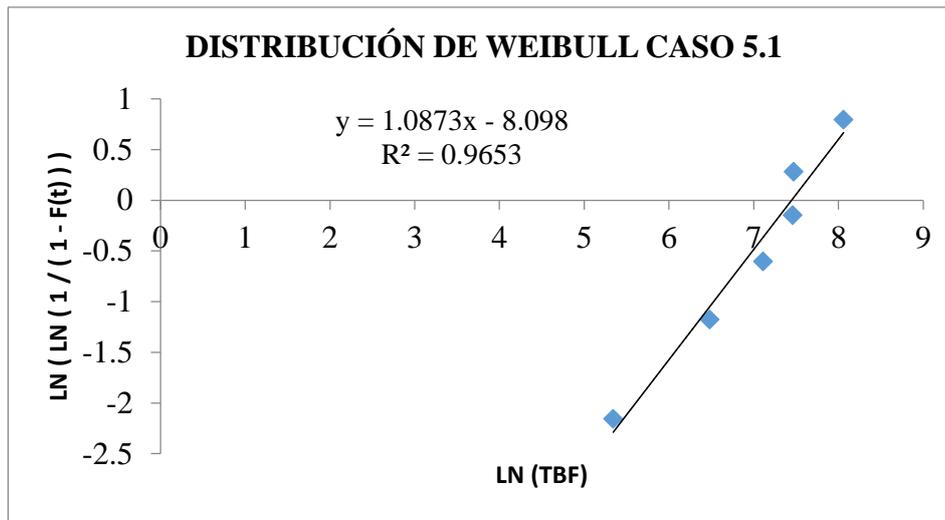
Tabla 41 Tiempo entre fallos y probabilidad de fallo: Caso de estudio 5.1.

Fallo	TBF (horas)	F(t) (%)
1	209.02	0.11
2	652.10	0.27
3	1224.47	0.42
4	1734.82	0.58
5	1758.37	0.73
6	3167.87	0.89

Fuente: Elaboración propia.

Graficamos los puntos en el papel de Weibull y verificamos si representan una tendencia lineal para poder determinar los parámetros de Weibull correctamente. En la Figura 57, se puede verificar que la distribución corresponde a una tendencia lineal.

Figura 57 Distribución Weibull: Caso de estudio 5.1.



Fuente: Elaboración propia.

Habiendo corroborado la tendencia lineal, procedemos a calcular los parámetros de Weibull, mostrados en la siguiente Tabla 42.

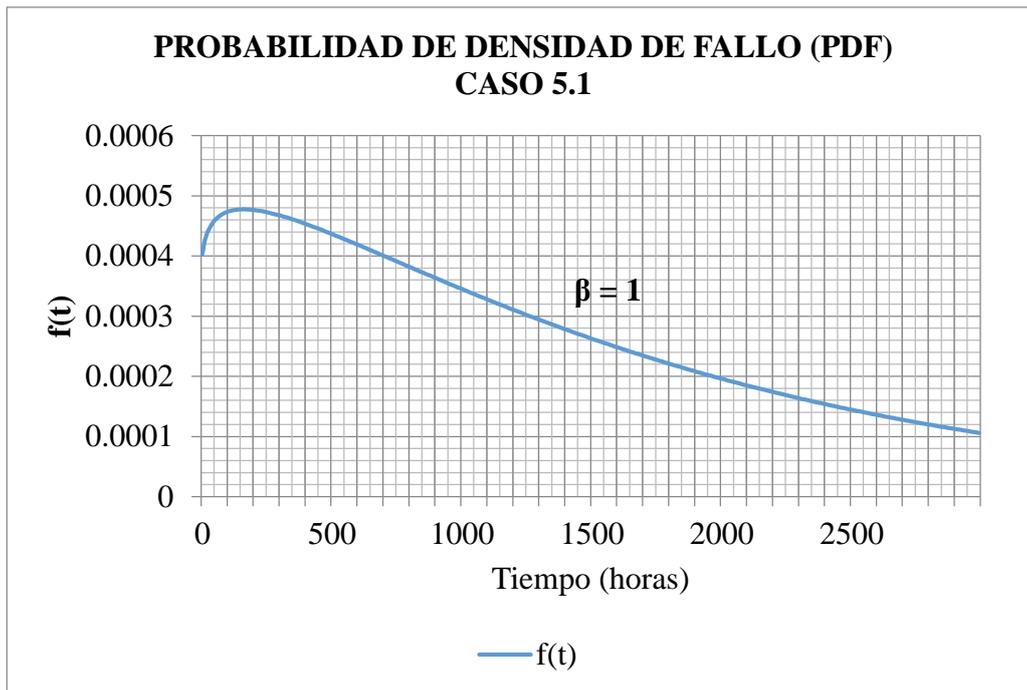
Tabla 42 Parámetros Weibull: Caso de estudio 5.1.

PARÁMETROS WEIBULL CASO 5.1	
Pendiente	1.0873
Ordenada	-8.0980
R2	0.9653
β	1.09
η (horas)	1716.08
γ (horas)	0.00
A	0.9687
B	0.8918
MTBF (horas)	1662.32
σ (horas)	1530.32

Fuente: Elaboración propia.

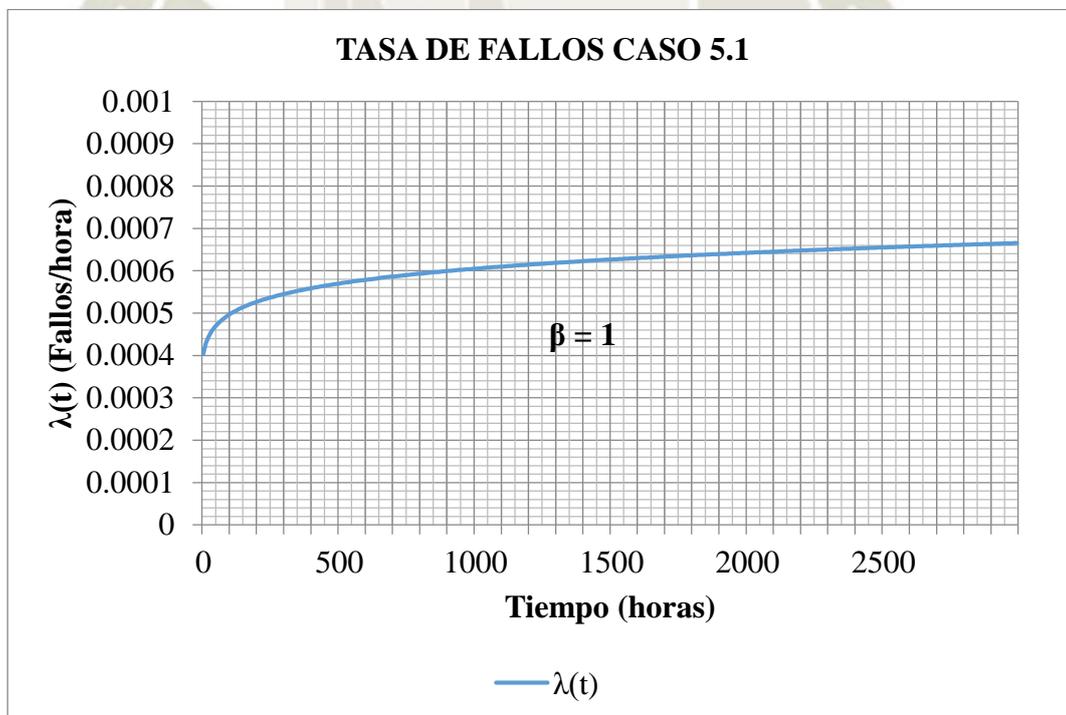
Con los parámetros calculados procedemos a calcular y graficar la probabilidad de densidad de fallo (Figura 58), tasa de fallos (Figura 59) y confiabilidad (Figura 60). Con estas graficas determinaremos el tipo de mantenimiento a utilizar y la frecuencia inicial.

Figura 58 Probabilidad de Densidad de Fallo: Caso de estudio 5.1.



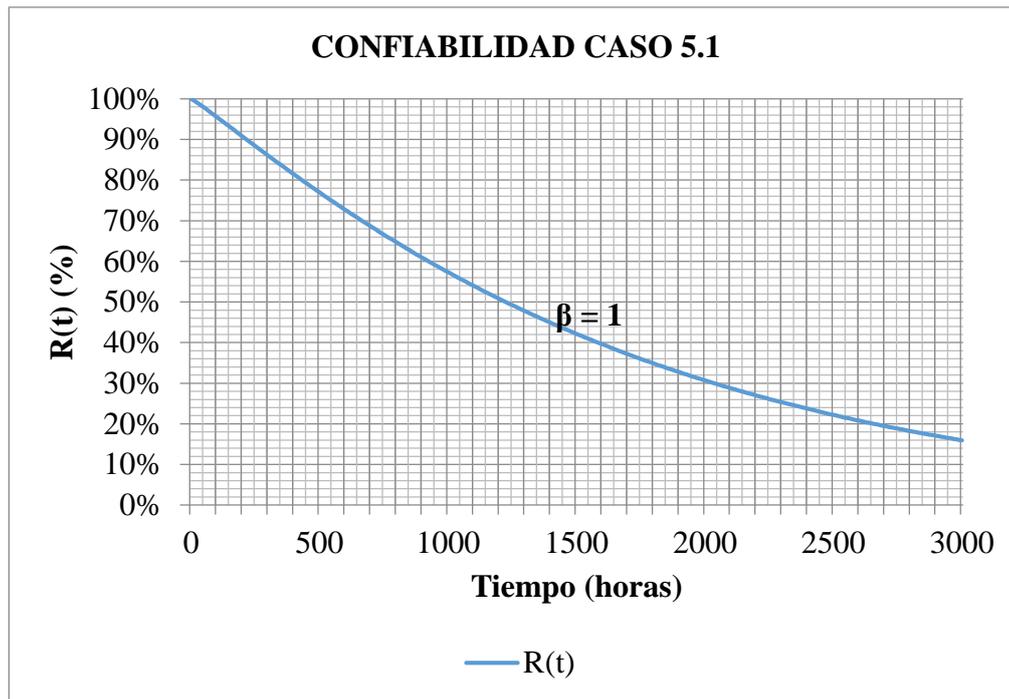
Fuente: Elaboración propia.

Figura 59 Tasa de fallos: Caso de estudio 5.1.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 60 Confiabilidad: Caso de estudio 5.1.



Fuente: Elaboración propia.

Podemos observar en la Figura 59 que tenemos una tasa de fallos constante en el tiempo, por lo tanto, se recomienda realizar un mantenimiento predictivo.

La frecuencia recomendada para realizar el cambio preventivo estará dada según la confiabilidad que deseemos. Inicialmente, este componente es cambiado por condición, pero no se hace un monitoreo correcto del desgaste durante su vida. Por lo tanto, se propone realizar monitoreo constante para evitar paradas imprevistas por daño en las fajas. Para este caso, proponemos tener una confiabilidad mayor al 85%, por lo tanto, el tiempo recomendado para realizar las inspecciones y evitar estas fallas según la Figura 60 sería 270 hrs o 12.5 días aproximadamente.

Por lo tanto, según lo obtenido con el análisis Weibull, determinamos las tareas propuestas con su intervalo inicial en la Tabla 43.

Tabla 43 Hoja de Decisiones: Caso de estudio 5.1.

HOJA DE DECISIONES - ANÁLISIS WEIBULL - CASO 5.1									
EQUIPO:		Fajas Transportadoras		SISTEMA:	Transporte	REALIZADO POR:	Gonzalo Escalante	FECHA:	2019
CODIGO:		CV001, CV002		COMPONENTE:	Faja	REVISADO POR:	Mario Valencia	FECHA:	2019
REFERENCIA DE			TIPO DE MANTENIMIENTO	CONFIABILIDAD DESEADA	TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL			
F	FF	FM							
1	A	1	Predictivo	85%	- Monitorear desgaste de faja con ultrasonido. - Revisar faja; presencia de cortes y/o desgaste excesivo. Reacondicionar si es necesario.	12.5 días			
1	A	2	Predictivo	85%	Revisar tensión de fajas transportadoras. Ajustar tensión si es necesario.	12.5 días			
1	A	3	Predictivo	85%	Revisar alineamiento de fajas transportadoras. Alinear si es necesario.	12.5 días			
1	A	4	Predictivo	85%	Revisar tensión de fajas transportadoras. Ajustar tensión si es necesario.	12.5 días			
1	B	1	Predictivo	85%	Revisar alineamiento de fajas transportadoras. Alinear si es necesario.	12.5 días			
2	A	1	Predictivo	85%	Inspeccionar visualmente edurecimiento y/o agrietamiento de las fajas transportadoras. Planificar cambio si es necesario.	12.5 días			
3	A	1	Predictivo	85%	Revisar tensión de fajas transportadoras. Ajustar tensión si es necesario.	12.5 días			

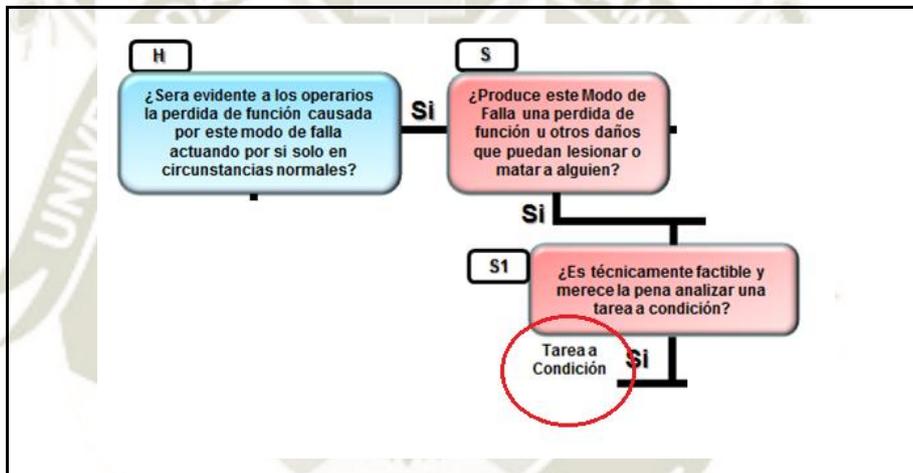
Fuente: Elaboración propia.

3.10.6. Caso de estudio 6.1 (Polines / Bastidores)

En este caso utilizaremos el árbol lógico de decisiones del RCM, ya que a pesar de que contamos con cantidad importante de paradas por esta causa de fallo, no podemos saber cuántos de estos pertenecen a un solo elemento, y no se podría saber su comportamiento real de este componente con el análisis estadístico Weibull.

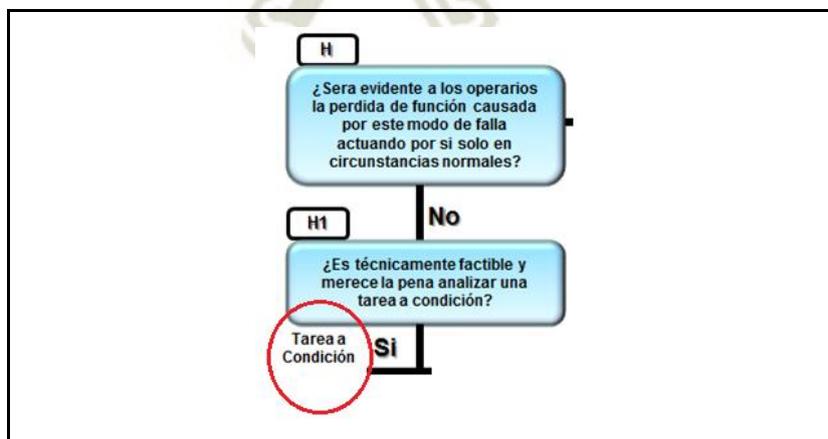
Analizaremos cada modo de falla del AMEF de los polines y bastidores con el árbol de decisiones del RCM (Figuras 61 y 62) para determinar el tipo de mantenimiento que se debe aplicar. Luego, determinaremos una frecuencia o intervalo inicial de intervención, como se muestra en la Tabla 44.

Figura 61 Ruta del árbol de decisiones: AMEF Polines/Bastidores 1A1 y 1A2.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 62 Ruta del árbol de decisiones: AMEF Polines/Bastidores 2A1 y 2A2.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 44 Hoja de Decisión: Polines y bastidores.

HOJA DE DECISIONES - ÁRBOL LÓGICO RCM - CASO 6.1																		
EQUIPO:			Fajas Transportadoras				SISTEMA:			Limpieza			REALIZADO POR:		Gonzalo Escalante		FECHA:	2019
CODIGO:			CV001, CV002				COMPONENTE:			Raspadores			REVISADO POR:		Mario Valencia		FECHA:	2019
REFERENCIA DE			EVALUACIÓN DE CONSECUENCIAS				H1	H2	H3	ACCIÓN A FALTA DE			TIPO DE MANTENIMIENTO	TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL			
F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4						
							O1	O2	O3									
1	A	1	S	S			S						Tarea a Condición	Inspeccionar estado de polines; desgaste, daños, etc. Cambiar si es necesario.	7 días			
1	A	2	S	S			S						Tarea a Condición	Inspeccionar estado de polines; desgaste, daños, etc. Cambiar si es necesario.	7 días			
2	A	1	N				S						Tarea a Condición	Inspeccionar estado de bastidores de descarga; desgaste, daños, etc. Cambiar si es necesario.	7 días			
2	A	2	N				S						Tarea a Condición	Inspeccionar estado de polines de descarga; desgaste, daños, etc. Cambiar si es necesario.	7 días			

Fuente: Elaboración propia.

3.10.7. Caso de estudio 7.1 (Multilin)

En este caso utilizaremos el análisis estadístico Weibull ya que contamos con suficientes paradas por esta causa de fallo en la base de datos, previamente corroborados y seleccionados, para determinar el tipo de mantenimiento y la frecuencia o intervalo inicial para una confiabilidad mayor, para todos los modos de fallo del AMEF del sistema multilin.

A continuación mostramos los tiempos entre fallos (TBF) de este caso de estudio y calculamos la probabilidad de fallo, en este caso contamos con 45 muestras mostrados en la siguiente Tabla 45.

Tabla 45 Tiempo entre fallos y probabilidad de fallo: Caso de estudio 7.1

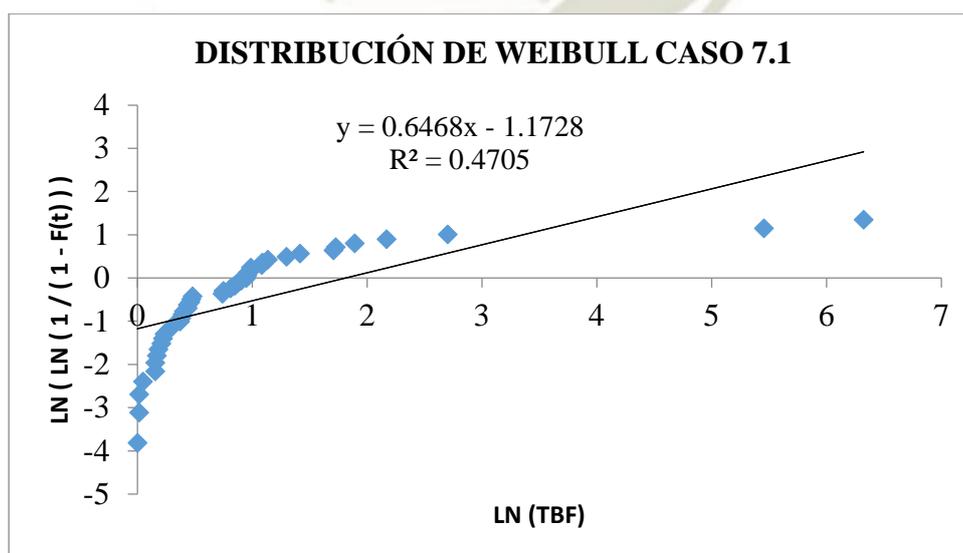
Fallo	TBF (horas)	F(t)
1	1.00	0.02
2	1.02	0.04
3	1.02	0.07
4	1.05	0.09
5	1.17	0.11
6	1.17	0.13
7	1.18	0.15
8	1.20	0.17
9	1.23	0.20
10	1.25	0.22
11	1.27	0.24
12	1.32	0.26
13	1.37	0.28
14	1.45	0.30
15	1.47	0.33
16	1.48	0.35
17	1.50	0.37
18	1.55	0.39
19	1.55	0.41
20	1.58	0.43
21	1.60	0.46
22	1.62	0.48
23	2.10	0.50
24	2.12	0.52
25	2.25	0.54
26	2.33	0.57
27	2.38	0.59
28	2.47	0.61

29	2.58	0.63
30	2.60	0.65
31	2.60	0.67
32	2.68	0.70
33	2.68	0.72
34	2.95	0.74
35	2.97	0.76
36	3.12	0.78
37	3.67	0.80
38	4.12	0.83
39	5.52	0.85
40	5.62	0.87
41	6.63	0.89
42	8.75	0.91
43	14.90	0.93
44	234.22	0.96
45	556.75	0.98

Fuente: Elaboración propia.

Graficamos los puntos en el papel de Weibull y verificamos si representan una tendencia lineal para poder determinar los parámetros de Weibull correctamente. En la Figura 63, se puede verificar que la distribución no corresponde a una tendencia lineal.

Figura 63 Distribución Weibull: Caso de estudio 7.1.



Fuente: Elaboración propia

Habiendo corroborado que la distribución no tiene una tendencia lineal, entonces quiere decir que se tienen un parámetro de origen. Procedemos a utilizar la

siguiente fórmula con los datos obtenidos de la Figura 63, mostrados en la siguiente Tabla 46.

Tabla 46 Datos para el cálculo del parámetro de origen

Valor	LN(LN(1/(1-F(t))))	LN (TBF)	TBF
1	-3	0	1
2	-1	0.3	1.35
3	1	2.7	14.88

Fuente: Elaboración propia.

$$\gamma = \frac{TBF_2^2 - TBF_1 * TBF_3}{2 * TBF_2 - TBF_1 - TBF_3}$$

$$\gamma = \frac{1.35^2 - 1 * 14.88}{2 * 1.35 - 1 - 14.88}$$

$$\gamma = 0.99 \text{ horas}$$

Procedemos a restar el parámetro de origen a los TBF iniciales, como se muestra en la siguiente Tabla 47.

Tabla 47 Tiempo entre fallos y probabilidad de fallo con parámetro de origen: Caso de estudio 7.1.

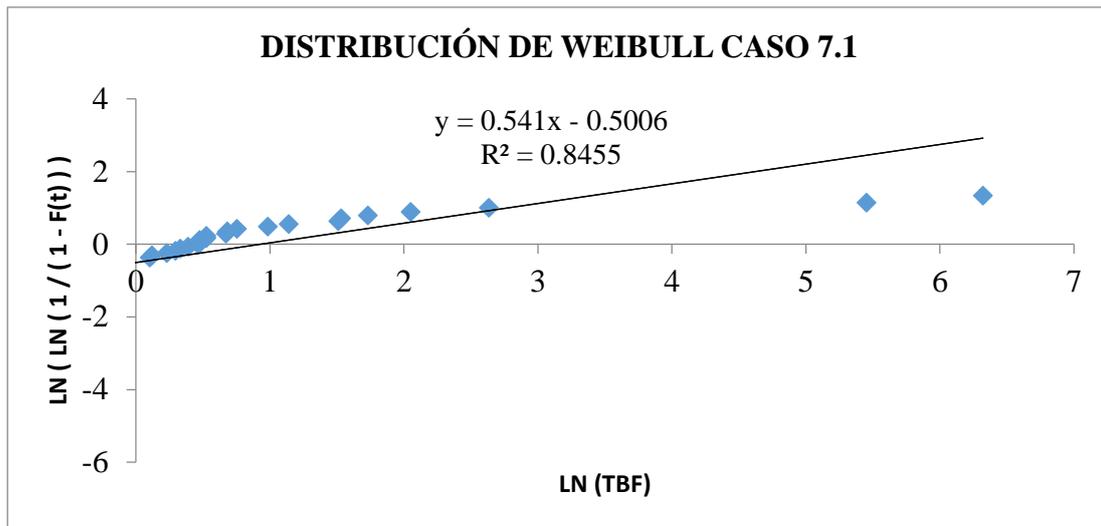
Fallo	TBF (horas)	TBF - γ	F(t)
1	1.00	0.01	0.02
2	1.02	0.03	0.04
3	1.02	0.03	0.07
4	1.05	0.06	0.09
5	1.17	0.18	0.11
6	1.17	0.18	0.13
7	1.18	0.19	0.15
8	1.20	0.21	0.17
9	1.23	0.24	0.20
10	1.25	0.26	0.22
11	1.27	0.28	0.24
12	1.32	0.33	0.26
13	1.37	0.38	0.28
14	1.45	0.46	0.30
15	1.47	0.48	0.33
16	1.48	0.49	0.35
17	1.50	0.51	0.37
18	1.55	0.56	0.39
19	1.55	0.56	0.41

20	1.58	0.59	0.43
21	1.60	0.61	0.46
22	1.62	0.63	0.48
23	2.10	1.11	0.50
24	2.12	1.13	0.52
25	2.25	1.26	0.54
26	2.33	1.34	0.57
27	2.38	1.39	0.59
28	2.47	1.48	0.61
29	2.58	1.59	0.63
30	2.60	1.61	0.65
31	2.60	1.61	0.67
32	2.68	1.69	0.70
33	2.68	1.69	0.72
34	2.95	1.96	0.74
35	2.97	1.98	0.76
36	3.12	2.13	0.78
37	3.67	2.68	0.80
38	4.12	3.13	0.83
39	5.52	4.53	0.85
40	5.62	4.63	0.87
41	6.63	5.64	0.89
42	8.75	7.76	0.91
43	14.90	13.91	0.93
44	234.22	233.23	0.96
45	556.75	555.76	0.98

Fuente: Elaboración propia.

Nuevamente graficamos los puntos en el papel de Weibull y verificamos si representan una tendencia lineal para poder determinar los parámetros de Weibull correctamente. En la Figura 64, se puede verificar que la distribución corresponde a una tendencia lineal.

Figura 64 Distribución Weibull con parámetro de origen: Caso de estudio 7.1.



Fuente: Elaboración propia.

Habiendo corroborado la tendencia lineal, procedemos a calcular los parámetros de Weibull, mostrados en la siguiente Tabla 48.

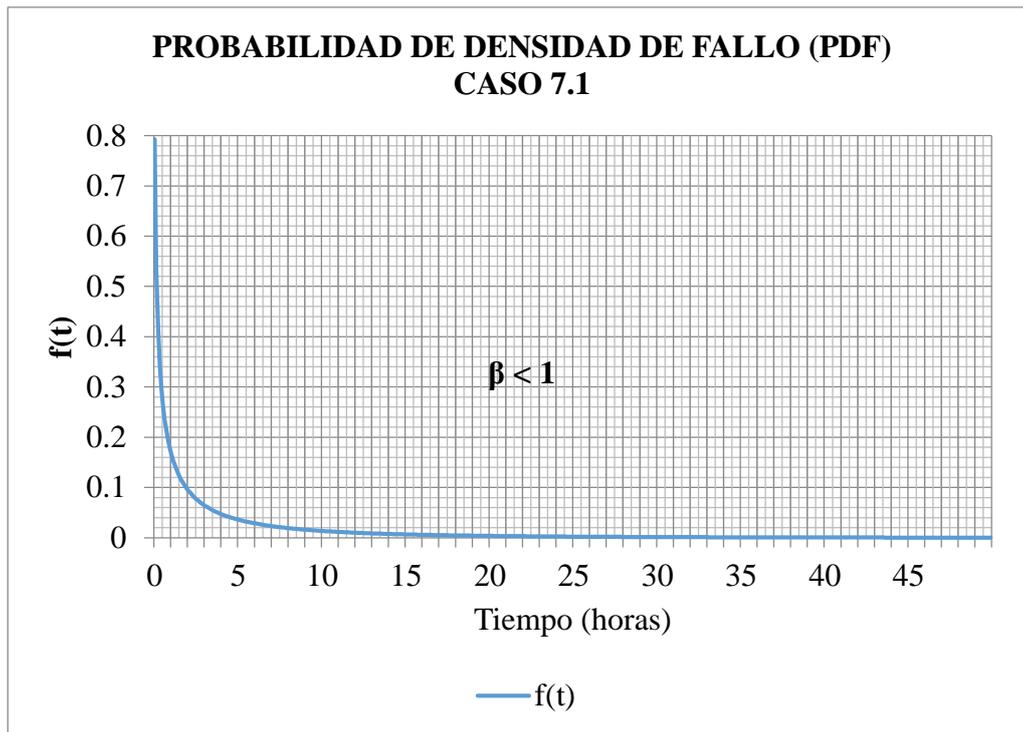
Tabla 48 Parámetros Weibull: Caso de estudio 7.1.

PARÁMETROS WEIBULL CASO 7.1	
Pendiente	0.5410
Ordenada	-0.5006
R2	0.8455
β	0.54
η (horas)	2.52
γ (horas)	0.99
A	1.7470
B	3.5086
MTBF (horas)	4.41
σ (horas)	8.85

Fuente: Elaboración propia.

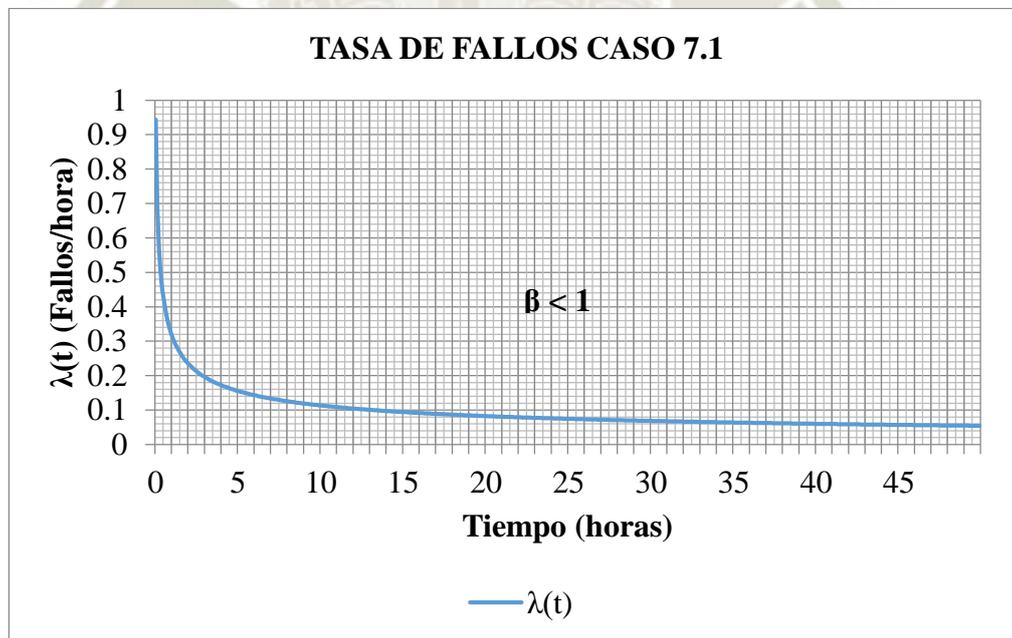
Con los parámetros calculados procedemos a calcular y graficar la probabilidad de densidad de fallo (Figura 65), tasa de fallos (Figura 66) y confiabilidad (Figura 67). Con estas graficamos determinaremos el tipo de mantenimiento a utilizar y la frecuencia inicial.

Figura 65 Probabilidad de Densidad de Fallo: Caso de estudio 7.1.



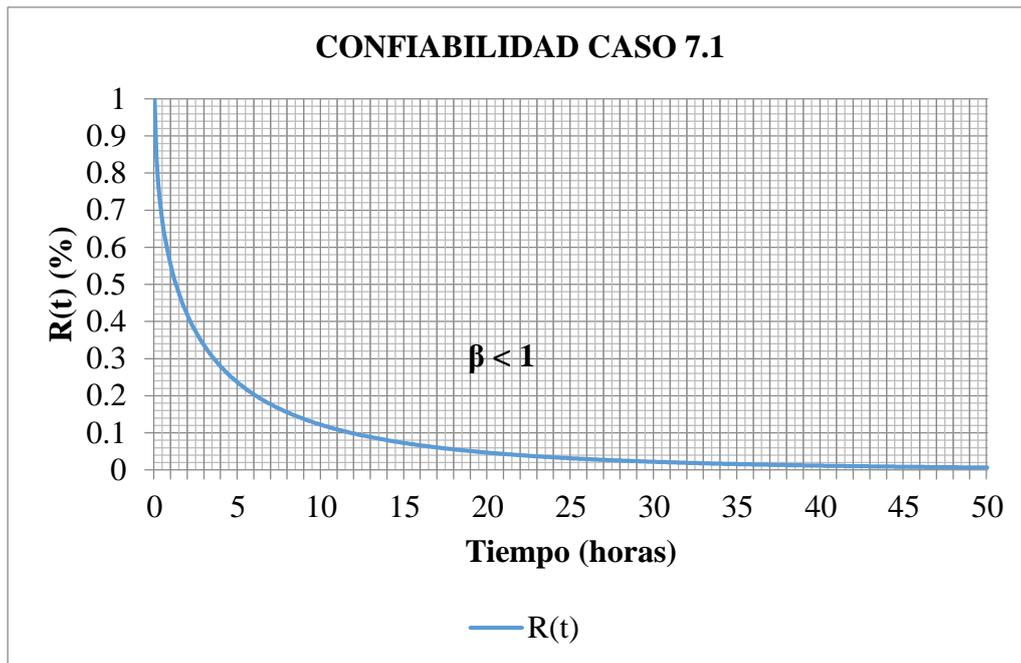
Fuente: Elaboración propia.

Figura 66 Tasa de fallos: Caso de estudio 7.1.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 67 Confiabilidad: Caso de estudio 7.1.



Fuente: Elaboración propia.

Podemos observar en la Figura 66 que tenemos una alta tasa de fallos en la vida inicial del componente, por lo tanto se recomienda realizar un mantenimiento modificativo, quiere decir que se requiere realizar una modificación al componente o actualización.

Se recomienda realizar la modificación o mejora de este componente inmediatamente, para evitar tener nuevamente las mismas paradas.

Por lo tanto, según lo obtenido con el análisis Weibull, determinamos las tareas propuestas con su intervalo inicial en la Tabla 49.

Tabla 49 Hoja de Decisiones: Caso de estudio 2.1.

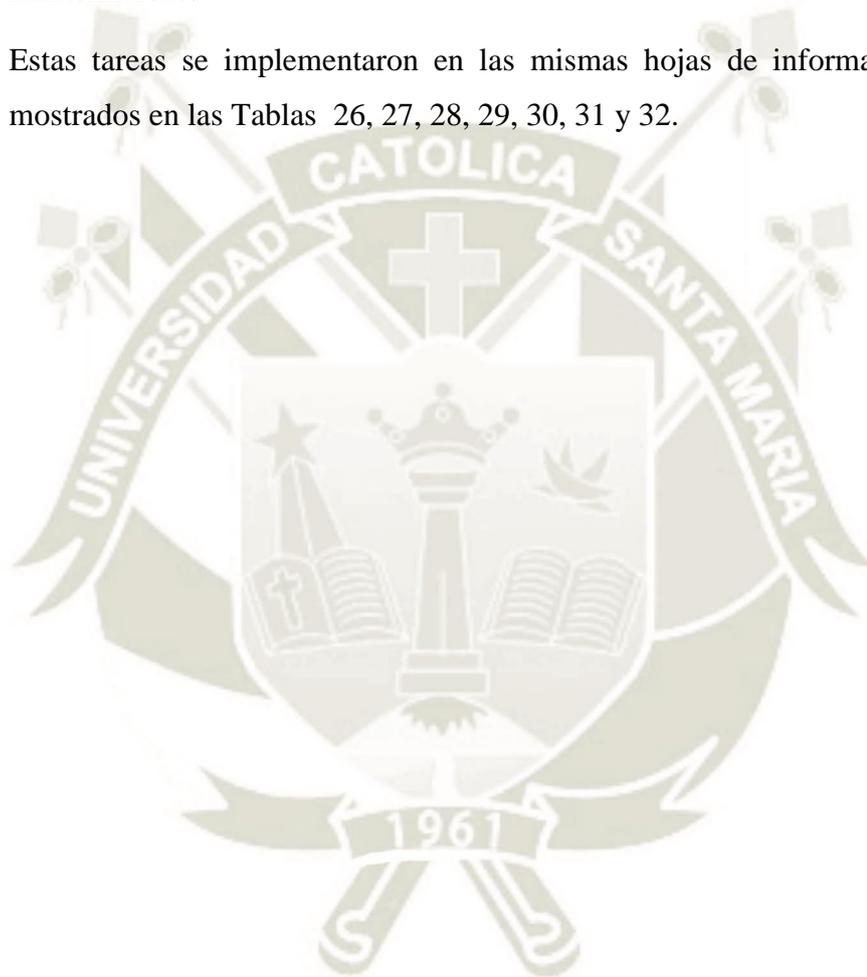
HOJA DE DECISIONES - ANÁLISIS WEIBULL - CASO 7.1									
EQUIPO:		Todo Chancado Primario		SISTEMA:	Control	REALIZADO POR:	Gonzalo Escalante	FECHA:	2019
CODIGO:		R001, FE001, CV001, CV00		COMPONENTE:	Multilink E3plus	REVISADO POR:	Mario Valencia	FECHA:	2019
REFERENCIA DE			TIPO DE MANTENIMIENTO	CONFIABILIDAD DESEADA	TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL			
F	FF	FM							
1	A	1	Modificativo	Por analizar	Rediseñar o actualizar el sistema de protección Multilink E3plus por una nueva versión.	Inmediato			
1	A	2	Modificativo	Por analizar	Rediseñar o actualizar el sistema de protección Multilink E3plus por una nueva versión.	Inmediato			
1	A	3	Modificativo	Por analizar	Rediseñar o actualizar el sistema de protección Multilink E3plus por una nueva versión.	Inmediato			

Fuente: Elaboración propia.

3.11. PROPUESTA DE TAREAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO

Utilizando las tareas propuestas por las hojas de decisiones y el intervalo inicial propuesto, se elaboró un plan de mantenimiento para cada modo de falla identificados en los AMEF para implementar en el mantenimiento actual del área de chancado primario, que se propondrá a la empresa para la optimización de su mantenimiento.

Estas tareas se implementaron en las mismas hojas de información del AMEF mostrados en las Tablas 26, 27, 28, 29, 30, 31 y 32.



CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS DE COSTO DEL CICLO DE VIDA

4.1. INTRODUCCIÓN

Para los costos asociados con esta propuesta para optimizar el mantenimiento del área de chancado primario, se determinó cuál es el costo que demandará a la empresa minera para implementar las nuevas tareas de mantenimiento optimizado, en la cual, intervienen el costo de inversión por la adquisición de los equipos de mantenimiento y el costo de las horas hombre para realizar las tareas.

Luego se realizará una comparación con el costo de pérdida por equipo parado si es que no implementa el mantenimiento optimizado.

4.2. COSTO DE INVERSIÓN

4.2.1. Costo de Adquisición de Equipos Especializados

Para el mantenimiento proactivo determinado en el capítulo anterior, se requiere la adquisición de equipos especializados (suponiendo que la empresa no cuenta con ellos) para la realización de algunas tareas de mantenimiento, los cuales son:

- 01 Analizador de vibraciones y accesorios.
- 01 Medidor por ultrasonido y accesorios.
- 01 Alineador de ejes por láser

Se seleccionaron los siguientes equipos:

4.2.1.1. Analizador de Vibraciones Microlog AX de SKF

El Analizador Microlog AX es un analizador de pantalla grande más avanzado que ofrece SKF en la actualidad. Las características del Microlog AX permiten capturar rápidamente una amplia gama de vibraciones. (Hoja técnica en ANEXO 2 y 3)

Principales características:

- Medición simultánea triaxial o de cuatro canales para adquisición rápida de datos.
- Procesador Xscale a 806 MHz, que proporciona mayor velocidad de visualización en tiempo real.

- Robusto, a prueba de polvo/agua, diseño bajo norma IP65 para entorno industrial.
- Batería de litio recargable de hasta ocho horas de toma de datos continua.
- Pantalla color VGA de 6,4" que facilita la visualización y análisis con cualquier tipo de luz.

Precio: US\$ 8,000.00

4.2.1.2. Medidor de Espesores por Ultrasonido Demeq QS2

El QS2 es un medidor de espesores por ultrasonido económico, sencillo y fácil de usar. Es un equipo decimal con velocidad ajustable que permite medir sobre cualquier metal sin recubrimiento. También se pueden medir plásticos, vidrios y cerámica entre otros materiales. (Hoja técnica en ANEXO 4)

Principales características:

- Gabinete ABS de alto impacto
- Funda protectora de silicona (opcional)
- Pantalla grafica LCD con luz de fondo tipo LED
- Solo 5 teclas
- Calibración en un punto
- Simple y muy sencillo de usar
- Velocidad ajustable
- Tabla de velocidad de materiales en pantalla
- Funciona con 2 pilas “AAA”
- 5 años de garantía en la unidad electrónica

Precio: US\$ 6,500.00

4.2.1.3. Alineador de Ejes por Laser SKF TKSA 41

El TKSA 41 es una solución avanzada de alineación por láser que permite conseguir una alineación precisa de ejes. Con dos unidades de medición inalámbricas, detectores de gran tamaño y potentes láseres, el instrumento realiza mediciones precisas incluso en las condiciones más difíciles. Las alineaciones se realizan de manera simple y rápida. Cuenta con características innovadoras, como la “medición libre”, que ayuda a aumentar el rendimiento de la alineación.

Principales características:

- La comunicación inalámbrica mejora el manejo del instrumento y permite la alineación de aplicaciones a las que es difícil acceder desde una posición segura.
- La medición libre permite comenzar a realizar mediciones de alineación en cualquier ángulo y finalizar con un barrido angular de solo 90°.
- La medición automática permite operar el dispositivo sin utilizar las manos. El alineador detecta la posición de la cabeza y toma una medición cuando se giran las cabezas en la posición correcta.
- Después de cada alineación, se generan informes automáticos. Los informes se pueden personalizar con notas y fotografías, tomadas con la cámara incorporada, para una descripción más integral. Los informes se pueden exportar como archivos PDF.
- La vista en vivo ayuda a realizar mediciones intuitivas, y facilita la alineación horizontal y vertical.
- La biblioteca de máquinas da una visión general de todas las máquinas e informes de alineación. Para simplificar aún más la identificación de la máquina y mejorar el flujo de trabajo de alineación, se pueden utilizar códigos QR.

Precio: US\$ 6,000.00

En la siguiente Tabla 50 mostramos el resumen de los costos de inversión inicial por la adquisición de los equipos especializados.

Tabla 50 Costos de inversión inicial de equipos especializados.

COSTO DE INVERSIÓN INICIAL DE EQUIPOS ESPECIALIZADOS		
IT.	EQUIPO	INVERSIÓN INICIAL
1	Analizador de Vibraciones Microlog AX de SKF	\$ 8,000.00
2	Medidor de Espesores por Ultrasonido Demeq QS2	\$ 6,500.00
3	lineador de Ejes por Laser SKF TKSA 41	\$ 6,000.00
SUB-TOTAL		\$ 20,500.00

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2. Costo de Tareas Modificadorias

En la siguiente Tabla 51 se detalla el costo para realizar las tareas de mantenimiento modificativo.

Tabla 51 Costo de tareas modificadorias.

COSTO DE INVERSIÓN INICIAL DE TAREAS DE MODIFICACIÓN		
SISTEMA / COMPONENTE	TAREA	INVERSIÓN
Instrumentación / Sensor de Nivel	Diseñar e implementar protección para el sensor de nivel para evitar la contaminación de polvo y golpes de material dentro de la cámara de compensación.	\$ 1,500.00
Sistema de Control / Multilin E3plus	Rediseñar o actualizar el sistema de protección Multilink E3plus por una nueva versión.	\$ 10,000.00
SUB-TOTAL		\$ 11,500.00

Fuente: Elaboración propia.

4.3. COSTO DE HORAS HOMBRE ANUALIZADO

En este punto analizaremos los costos anualizados de horas hombre que se requiere para hacer cada una de las tareas del mantenimiento optimizado. Se detalla en la siguiente Tabla 52.

Tabla 52 Costo anualizado de HH de las tareas para optimizar el mantenimiento.

COSTO ANUAL DE LAS TAREAS DE MANTENIMIENTO OPTIMIZADO								
SISTEMA / COMPONENTE	TAREA	FRECUENCIA	N° DE VECES AL AÑO	COSTO PARA REALIZAR LA TAREA				
				DURACIÓN (hrs.)	CANT. DE PERSONAL	COSTO DE HH	SUB-TOTAL	TOTAL
CHANCADOR PRIMARIO								
Sistema de transmisión	Monitoreo por vibraciones del sistema de transmisión para identificar desalineamiento, mal backlash, etc. Alinear si es necesario.	2 semanas	36	2	2	\$ 30.00	\$ 120.00	\$ 4,320.00
Sistema de Lubricación	Revisar sistema de lubricación; regular presiones, verificar presencia de fugas y estado de componentes. Ajustar / cambiar si es necesario.	1 mes	12	1	2	\$ 30.00	\$ 60.00	\$ 720.00
Sistema de desgaste / Mantos	Realizar cambio de mantos de eje principal de Chancadora Primaria.	3 semanas	18	6	4	\$ 30.00	\$ 720.00	\$12,960.00
FAJAS TRANSPORTADORAS								
Sistema de Transporte / Faja	Monitorear desgaste de faja con ultrasonido.	1 semana	52	4	2	\$ 30.00	\$ 240.00	\$12,480.00
Sistema de Transporte / Faja	Revisar faja; presencia de cortes y/o desgaste excesivo. Reparar si es necesario.	1 semana	52	4	2	\$ 30.00	\$ 240.00	\$12,480.00
Sistema de Transporte / Faja	Revisar alineamiento de fajas transportadoras. Alinear si es necesario.	1 semana	52	0.5	2	\$ 30.00	\$ 30.00	\$ 1,560.00
Sistema de Transporte / Faja	Revisar tensión de fajas transportadoras. Ajustar tensión si es necesario.	1 semana	52	1	2	\$ 30.00	\$ 60.00	\$ 3,120.00
Sistema de Transporte / Faja	Inspeccionar visualmente edurecimiento y/o agrietamiento de las fajas transportadoras. Planificar cambio si es necesario.	1 semana	52	0.5	2	\$ 30.00	\$ 30.00	\$ 1,560.00
POLINES Y BASTIDORES								
Sistema de Transporte / Polines y bastidores	Inspeccionar estado de polines; desgaste, daños, etc. Cambiar si es necesario.	1 semana	52	2	2	\$ 30.00	\$ 120.00	\$ 6,240.00
Sistema de Transporte / Polines y bastidores	Inspeccionar estado de bastidores de descarga; desgaste, daños, etc. Cambiar si es necesario.	1 semana	52	2	2	\$ 30.00	\$ 120.00	\$ 6,240.00
Sistema de Transporte / Polines y bastidores	Inspeccionar estado de polines de descarga; desgaste, daños, etc. Cambiar si es necesario.	1 semana	52	2	2	\$ 30.00	\$ 120.00	\$ 6,240.00
POLINES Y BASTIDORES								
Elementos de Desgaste	Inspeccionar estado elemetos de desgaste de chutes de carga. Reinstalar chutes desprendidos y/o cambiar los desgastado.	1 semana	52	2	2	\$ 30.00	\$ 120.00	\$ 6,240.00
SUB-TOTAL								\$ 74,160.00

Fuente: Elaboración propia.

4.4. COSTO TOTAL DEL MANTENIMIENTO OPTIMIZADO

En la siguiente Tabla 53, se muestra el costo total del mantenimiento optimizado; la inversión inicial (equipos y tareas de modificación) y los costos de horas hombre para realizar las tareas de mantenimiento optimizado en un año.

Tabla 53 Resumen del costo total para optimizar el mantenimiento.

COSTO TOTAL PARA OPTIMIZAR MANTENIMIENTO		
IT.	EQUIPO	COSTO
1	COSTO DE INVERSIÓN INICIAL DE EQUIPOS ESPECIALIZADOS	\$ 20,500.00
2	COSTO DE INVERSIÓN INICIAL DE TAREAS DE MODIFICACIÓN	\$ 1,500.00
COSTO TOTAL DE INVERSIÓN INICIAL		\$ 22,000.00
3	COSTO DE LAS TAREAS DE MANTENIMIENTO OPTIMIZADO POR AÑO	\$ 74,160.00
COSTO TOTAL		\$ 96,160.00

Fuente: Elaboración propia.

4.5. COSTO TOTAL ANUALIZADO DE LAS PÉRDIDAS POR FALLOS CRÍTICOS

Luego de implementar el mantenimiento optimizado propuesto, se espera que las causas de fallos identificados ya no generen costos por pérdida, detallados en la siguiente Tabla 54.

Tabla 54 Pérdidas por fallos críticos identificados.

COSTO DE PÉRDIDA POR FALLOS CRÍTICOS			
CASO DE ESTUDIO	FALLOS CRÍTICOS	COSTO TOTAL DE PÉRDIDA (05/09/2014 - 23/10/2017)	COSTO TOTAL DE PÉRDIDA POR AÑO
1.1	Excéntrica Rotura/Fisura	\$ 804,095.00	\$ 268,031.67
2.1	Elemento de desgaste (Manto) Caída	\$ 303,128.50	\$ 101,042.83
3.1	Sensor de nivel Sensor dañado	\$ 143,396.68	\$ 47,798.89
4.1	Elemento de desgaste Caída	\$ 177,776.67	\$ 59,258.89
4.2	Elemento de desgaste Rotura/Fisura	\$ 102,188.34	\$ 34,062.78
5.1	Faja/correa dañada	\$ 179,106.67	\$ 59,702.22
6.1	Polines y bastidores dañado	\$ 37,683.34	\$ 12,561.11
7.1	Protección/medición y control Multilin E3plus Configuración	\$ 105,070.00	\$ 35,023.33
COSTO DE PÉRDIDA TOTAL			\$ 617,481.73

Fuente: Elaboración propia.

4.6. COMPARACIÓN DE COSTOS CON LCCA

En este punto vamos analizar los costos calculados en los puntos anteriores, calculando los valores presentes y anualizados para un ciclo de vida del área de chancado primario de 10 años, suponiendo una tasa de descuento del 10% por año. Luego, comparamos los costos anualizados para verificar el ahorro que se tendría al implementar la optimización del mantenimiento propuesto.

En las siguientes Tablas 55 y 56 se muestra el cálculo de los costos del LCCA en valor presente y anual en ambos casos; con mantenimiento optimizado propuesto y con las pérdidas si no se haría nada.

Tabla 55 LCCA con mantenimiento optimizado.

COSTOS CON MANTENIMIENTO OPTIMIZADO	
Total de costos en valor presente LCCA (P) =	\$ 477,681.10
Total de costos en valor equivalente anual LCCA (A) =	\$ 77,740.40
Inversión inicial =	\$ 22,000.00
Costos de Mantto Optimizado (P) =	\$ 455,681.10

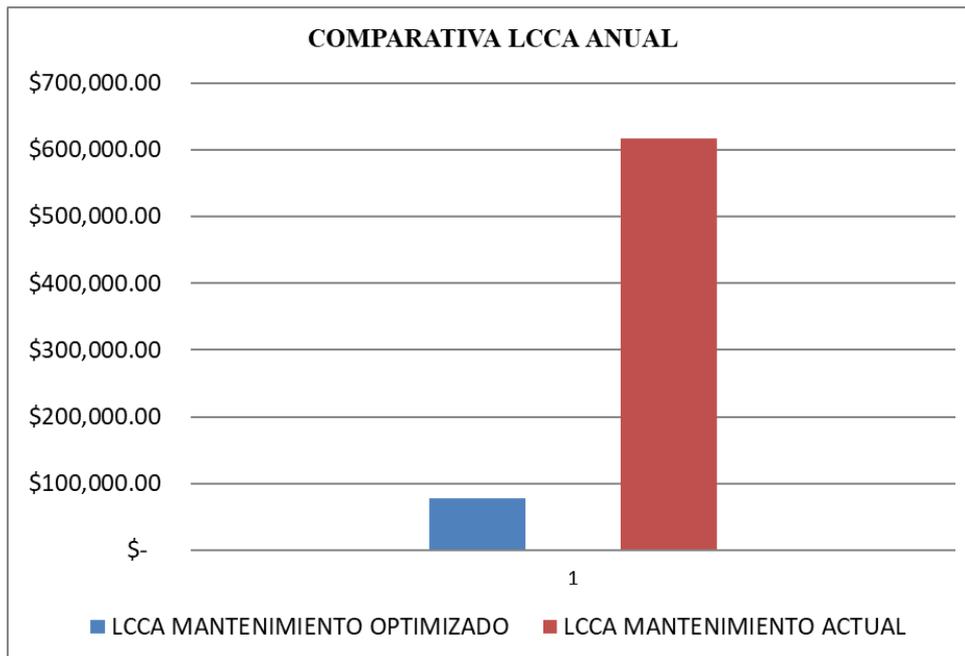
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 56 LCCA con mantenimiento actual.

COSTOS CON MANTENIMIENTO ACTUAL	
Total de costos en valor presente LCCA (P) =	\$ 3,794,157.95
Total de costos en valor equivalente anual LCCA (A) =	\$ 617,481.73
Inversión inicial =	\$0.00
Costos de Pérdidas (P) =	\$3,794,157.95

Fuente: Elaboración propia.

Figura 68 Comparación de LCCA: Mantenimiento optimizado vs Mantenimiento Actual



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la Figura 68, el costo LCCA anual de mantenimiento optimizado es mucho menor que el costo LCCA anual si no se haría ninguna mejora. Por lo tanto, es conveniente realizar la inversión para poder optimizar el mantenimiento en el área de chancado primario de la minera.

CONCLUSIONES

Luego del desarrollo de la propuesta para optimizar el mantenimiento del proceso de Chancado Primario de una de una Planta Concentradora de Cobre, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Se estableció la situación actual del mantenimiento de los equipos principales del proceso de chancado primario; se seleccionaron 4 equipos que estaban generando paradas imprevistas según el histórico de fallos y se determinó su contexto operacional, como sus especificaciones técnicas y su estructuración jerárquica.
- Con el histórico de fallos facilitado por la empresa minera y analizada con diagramas de dispersión, se identificaron 7 fallos críticos que estaban afectando la disponibilidad y generando costos por pérdidas de producción.
- Se identificaron los modos de falla con el desarrollo del AMEF, y con ayuda de la metodología del RCM y análisis de confiabilidad, se determinaron tareas proactivas de mantenimiento para evitar las paradas imprevistas que están generando mayores pérdidas de producción.
- Los costos para implementar el mantenimiento optimizado es aproximadamente el 12.6% de los costos por pérdida de producción, por lo tanto, se justifica la implementación de las nuevas tareas proactivas en el área de chancado primario para optimizar su mantenimiento.
- La metodología de la ingeniería de confiabilidad se puede aplicar en cualquier industria y/o equipo, lo importante es tener un Ingeniero de Mantenimiento capacitado y que tenga los conocimientos necesarios de los activos, en cuanto a funcionamiento, operación, fallas, mantenciones, etc.
- Los procedimientos de mantención de un equipo, que son inicialmente establecidos por los fabricantes, generalmente son efectivos, pero sólo hasta cierto punto, ya que no todos los equipos operan bajo los mismos parámetros de funcionamiento, o bajo el mismo contexto operacional. Por ello, realizar los AMEF ayuda a que el personal de mantenimiento pueda tomar decisiones más rápidas y asertivas en cuanto a las posibles fallas que se puedan tener.

RECOMENDACIONES

De acuerdo a las conclusiones obtenidas podemos emitir las siguientes recomendaciones:

- Mantener la retroalimentación luego de implementar este proyecto, ya que van a seguir surgiendo nuevas fallas que no se consideraron al inicio, las cuales deben ser incluidas en este análisis para seguir optimizando el mantenimiento.
- Establecer la cantidad y tiempos de aprovisionamiento óptimos de los repuestos críticos que se deben tener en almacén de mina como de los componentes reparables críticos que se deben tener en spare; efectuando un estudio de stocks mínimos y máximos según su confiabilidad como de la reposición automática de los mismos. Esto nos permitirá realizar nuestro mantenimiento sin pérdidas de tiempo por falta de repuestos.
- Establecer el análisis del presupuesto anual de mantenimiento del proceso de chancado primario de la planta concentradora en función al nuevo esquema del plan de mantenimiento desarrollado, considerando los nuevos costos de repuestos, mano de obra y reacondicionamientos.
- Desarrollar estándares que evalúen y aseguren la calidad de los nuevos procesos de mantenimiento para evitar desgaste o fallas prematuras, que nuevamente puedan perjudicar a la producción. Esto se puede lograr mediante supervisión de calidad durante el mantenimiento o identificando las fallas por procesos de mantenimiento mal ejecutados con metodologías estadísticas, que luego nos ayuden desarrollar mejoras en los procesos de mantenimiento que prevengan malas ejecuciones.

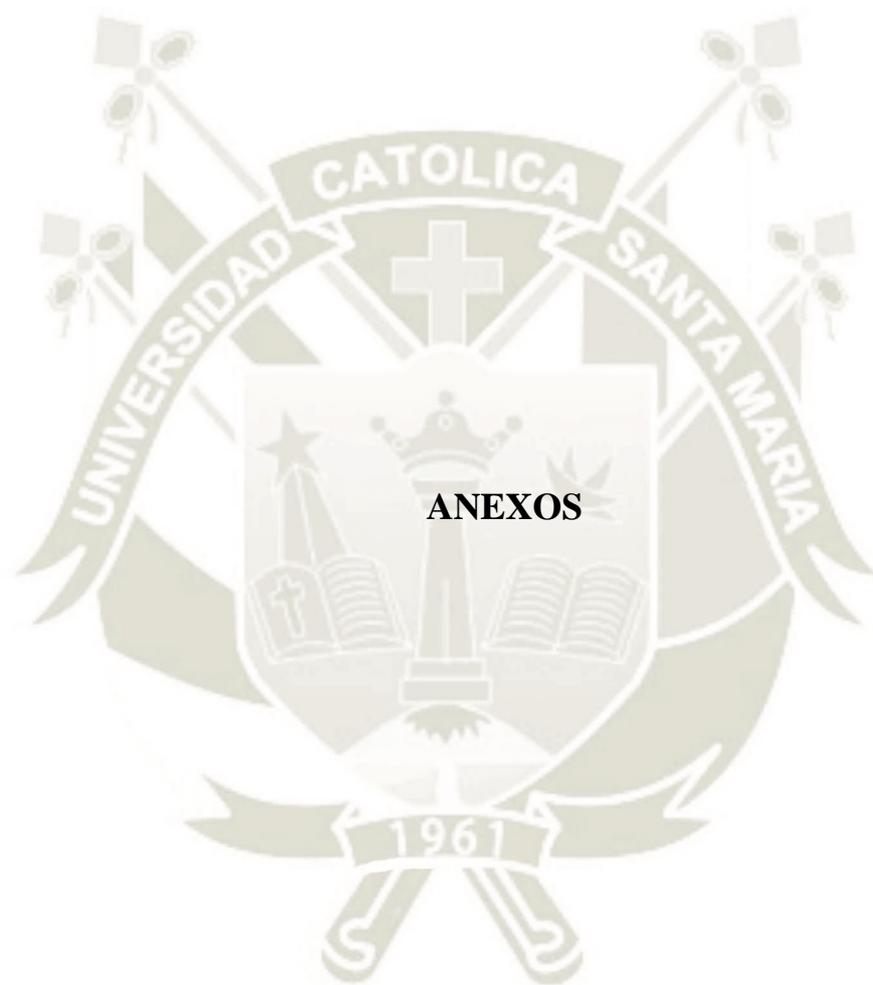
REFERENCIAS

- Amendola, L. J. (2002). *Modelos mixtos de Confiabilidad*. Valencia, España: Datastream.
- Besa González, A. j., & Carballeira Morado, J. (2015). *Diagnóstico y corrección de fallos de componentes mecánicos*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- FLSmidthMinerals . (2015). *Installation, operation and maintenance manual for FFE TRAYLOR 60"x110" TYPE "TC"* .
- JAN2002, Norma SAE-JA1012 Issued. *Surface Vechicle / Aerospace Recommended Practice*. (2018).
- Jardine, A. S. (2018). *Maintenance replacement and Reliability*. <https://www.crcpress.com/Maintenance-Replacement-and-Reliability-Theory-and-Applications-Second/author/p/book/9781138072107>.
- Luis Reyes, J. O. (1996). *Ingeniería de Mantenimiento. Teoría y Problemas Resueltos. Primera edición*. Lima, Perú: Salvador Editores.
- Moubray, J. (2004). *Reliability centered maintenance 2nd edition*. Nueva York: Industrial Press Inc.
- Observatorio del inversor. 55001, Norma ISO. Asset Managment*. (2014). <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:55001:ed-1:v1:es>.
- Pascual, R. (2002). *Gestión Moderna del Mantenimiento Versión 2.0*. Santiago, Chile: Universidad de Chile.
- Perez, C. M. (1997). *El camino hacia el RCM-Mantenimiento Centrado en confiabilidad*. Soporte & CIA.LTDA.
- SAE. 14224, Norma ISO. *Collection an Exchange of Reliability and Maintenance Data for Equipment*. (1999).
- Tavares, L. (2000). *Administración Moderna del Mantenimiento*. Brasil: Datastream.
- Torres Raymundo, A. M. (2017). *PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LA CHANCADORA 60"X113" DE MINERA CHINALCO* . Huancayo.
- Torres, L. D. (2005). *Mantenimiento, Implementación y Gestión. Segunda Edición*. Córdoba, Argentina: Universitas.

Vicente Macián Martínez, B. T. (1999). *Fundamentos de Ingeniería del Mantenimiento*. Valencia, España: Unniversidad Politécnica de Valencia.

Zela Toledo, A. F. (2017). *PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN DEL MANTENIMIENTO DE INSTRUMENTACIÓN DE LA PLANTA DE CHANCADO PRIMARIO COMPAÑÍA ANTAPACCAY*. Arequipa.







Gyratory Crushers

TC, NT and TS model crushers



FLSMIDTH

FLSmidth's Fuller-Traylor® Crushers

Our experience with Mining Industries (Minerals, Cement, and Aggregate) has resulted in a complete line of Gyratory Crushers to satisfy the requirements of a wide variety of our customers' applications.

FLSmidth holds a leading position in crushing technology with thousands of crushers installed since the inception of the Traylor brand. These gyratory crushers have been operating successfully in some of the world's harshest conditions for 50+ years. This long operating life can be attributed to the robust design that FLSmidth still utilizes to this day. The basic concept behind the Gyratory Crusher remains the same as it did during its inception, but the machine is entirely updated to address today's advanced technology, safety concerns, and operation schedules.

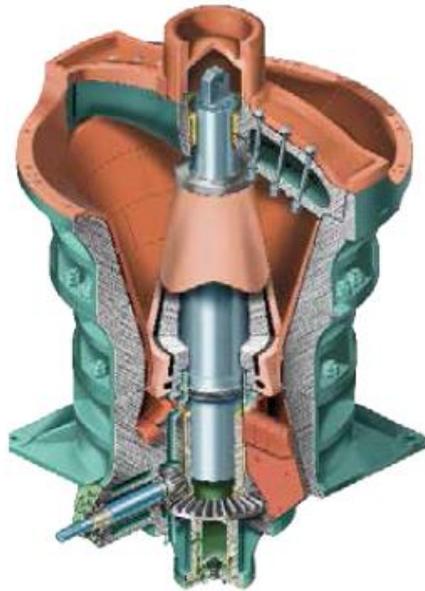
Our focus is on continually improving the design of our equipment to better serve our customers. This ongoing improvement has taken us from the original Bulldog Crushers through the world renowned "TC" model Crushers, to the "NT" line with updated maintenance-friendly features, and now into our current "Top-Service " (TS) line which can be serviced and maintained from above for added safety.



Design Features and Benefits:

- **Bar Type Spider:** Requires smaller lay-down areas and less maintenance time than conventional ring spiders.
- **Countershaft Bearings:** The preloaded self-adjusting tapered roller bearings automatically adjust to temperature fluctuations and wear, requiring minimal maintenance.
- **Main Shaft Assembly:** The Main Shaft Assembly is designed with a threaded sleeve to remove stress risers from the forged shaft and self-tightening head nut to assure security
- **Hydraulic Adjustment & Accumulator with Relief Valve:** Adjusts shaft position, absorbs crushing spikes and relieves pressure during extreme tramp events to extend component life.
- **Gearing:** Forged alloy gears and carburized pinions are engineered to prevent catastrophic tooth failure and ensure long service life. They are designed to AGMA standards with robust safety factors and high quality materials.
- **Bushings:** All bushings are designed keyless and manufactured from leaded bronze for long life.
- **High Capacity Lubrication:** The risk of burned bushings is minimal during demanding crushing operations because of large capacity reservoirs and high oil flow rates to Eccentric and Shaft bushings.
- **Crushing Chamber:** Chamber geometry is optimized for each application to ensure even wear and high throughput.
- **Drive Protection Coupling:** Torque Safety Coupling reduces shock loading of drive components during tramp events. The torque coupling makes it safer for personnel to remove tramp from the chamber since it relieves all preload in the drive system.
- **Automation System:** All Gyratory Crushers are available with complete control and sub-control systems.

Gyratory crushers

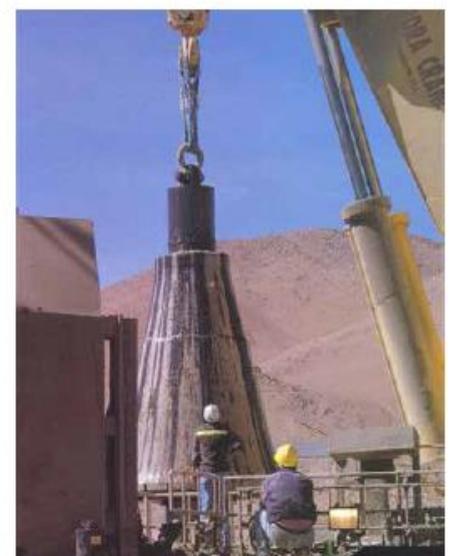


Original TC Crusher

The TC model gave Fuller Traylor Engineering a reputation throughout the worldwide mining industry as a provider of reliable, high quality equipment. After acquiring Fuller Company, FLSmidth has taken this original TC design and expanded on it to develop the NT line. The Type "NT" incorporates all of the "TC's" Heavy-Duty design features (Heavy Cast-Steel Shell Sections, Forged Main Shaft and Counter Shaft, Robust Gearing, Generous Lubrication, Long-Life Bronze Components) and focuses on coupling these historical characteristics with updated maintenance- friendly features. These design features allow more to be safely accomplished during shut-downs and ultimately leads to increased operational availability.

Current Applications

- **Aggregate**
- **Alumina/Bauxite**
- **Basalt**
- **Copper Ore**
- **Dolomite**
- **Gold Ore**
- **Granite**
- **Gypsum**
- **Iron Ore**
- **Limestone**
- **Molybdenum**
- **Nickel Ore**
- **Silver Ore**
- **Trap Rock**



Continued innovation



The "Top-Service" (TS) Line is the newest generation of Fuller-Traylor Gyratory Crushers from FLSmidth. This entire Gyratory Crusher is engineered from the ground up with Safety and Maintenance in mind.

The feature that distinguishes the "TS" design from other Gyratory Crushers is that the "TS" machine is designed to be Serviced & Maintained from an Overhead Crane.

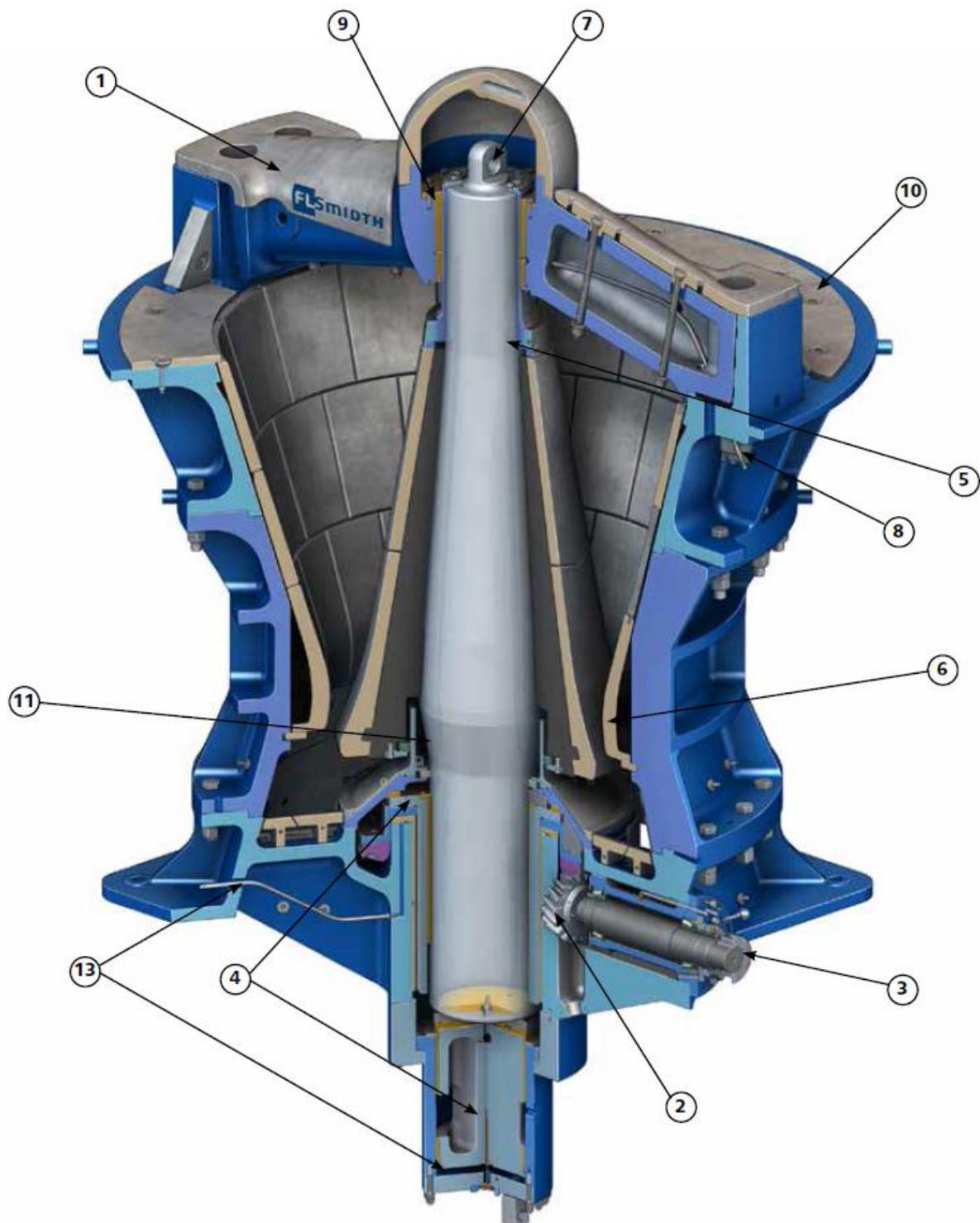
The Eccentric & Hydraulic Cylinder Assemblies are removed through the crusher feed opening instead of the discharge. The Safety advantage of the Top Service is that maintenance personnel can access the Eccentric and Hydraulic Cylinder Assemblies without entering the discharge bin (No more injury risk from falling debris). The Top Service maintenance advantage is being able to service the Eccentric Assembly without touching the Hydraulic Piston. By accessing the Eccentric first, it removes a wasteful

step and creates a faster and more productive shut-down. Plants that take advantage of housing Spare Capital Components [Eccentric / Bronze] are able to remove FLSmidth's 4 Bolt bar-Type Spider and change-out the entire Eccentric Assembly in just one shift.

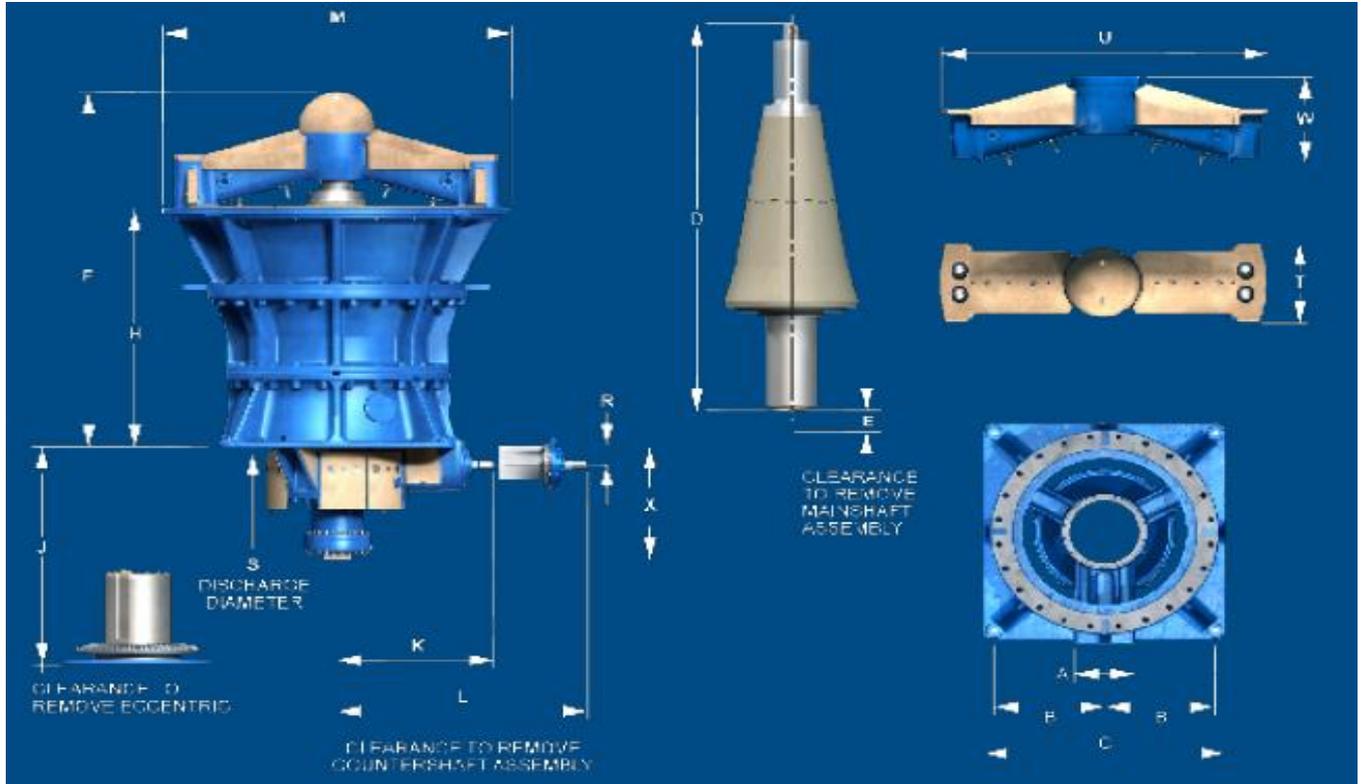
The Top Service design doesn't just transform into easier maintenance, it also transforms into more cost effective and flexible foundation designs. Since the Eccentric Maintenance Cart is no longer a necessary part of the layout, the large doors for accessing the crusher discharge bin have been transformed into a single-person access door. Discharge Conveyors can be more closely located to the crusher discharge without need for the Eccentric Cart, and because of the intrinsic design of the TS Eccentric, the Out of Balance Forces are minimal when compared to its predecessor.

We offer a full line to compliment our "NT" size range. The TS design maintains all the same design standards and options (except the eccentric cart) as the NT.





1. Bar-type spider
2. Spiral bevel gearing
3. Countershaft assembly
4. Top serviceable eccentric and hydraulic piston
5. Threadless mainshaft design
6. Custom chamber profiles
7. Integral mainshaft lifting eye
8. Grease spider lubrication
9. Bronze spider bushing
10. Top shell wear plates
11. Dust seal pressurized chamber
12. Bottom shell view ports (not shown)
13. Identical lube and hydraulic oil



	1100 x 1750 (43" x 69")	1300 x 1750 (51" x 69")	1370 x 1950 (54" x 77")	1600 x 2000 (63" x 79")	1525 x 2260 (60" x 89")	1525 x 2790 (60" x 113")
A	405 [16 in.]	405 [16 in.]	435 [17 in.]	443 [17 in.]	510 [20 in.]	560 [22 in.]
B	1500 [59 in.]	1575 [62 in.]	1580 [62 in.]	1893 [75 in.]	2390 [94 in.]	2390 [94 in.]
C	3300 [130 in.]	3300 [130 in.]	3658 [144 in.]	3660 [144 in.]	4395 [173 in.]	5380 [212 in.]
D	5355 [211 in.]	5765 [227 in.]	6466 [255 in.]	6950 [274 in.]	7122 [280 in.]	7596 [299 in.]
E	150 [6 in.]	150 [ 6 in.]	150 [ 6 in.]	150 [ 6 in.]	150 [ 6 in.]	150 [ 6 in.]
F	5126 [202 in.]	5488 [216 in.]	6103 [240 in.]	6517 [257 in.]	6791 [267 in.]	7372 [290 in.]
H	3378 [133 in.]	3753 [148 in.]	4248 [167 in.]	4645 [183 in.]	4675 [184 in.]	5123 [202 in.]
J	1460 [57 in.]	1460 [57 in.]	1680 [66 in.]	1680 [66 in.]	1725 [68 in.]	2210 [87 in.]
K	2150 [85 in.]	1700 [67 in.]	2535 [100 in.]	2530 [100 in.]	2970 [117 in.]	3440 [135 in.]
L	3400 [134 in.]	3400 [134 in.]	4000 [157 in.]	4000 [157 in.]	4635 [182 in.]	5440 [214 in.]
M	4430 [174 in.]	5030 [198 in.]	5182 [204 in.]	6140 [242 in.]	5890 [232 in.]	5210 [205 in.]
R	275 [11 in.]	275 [11 in.]	270 [11 in.]	270 [11 in.]	178 [7 in.]	206 [8 in.]
S	2910 [115 in.]	2910 [115 in.]	3373 [133 in.]	3373 [133 in.]	3925 [155 in.]	4760 [187 in.]
T	1065 [42 in.]	1065 [42 in.]	1195 [47 in.]	1195 [47 in.]	1420 [56 in.]	1530 [60 in.]
U	3900 [154 in.]	4300 [169 in.]	4636 [183 in.]	5332 [210 in.]	5310 [209 in.]	5620 [221 in.]
W	1276 [50 in.]	1336 [53 in.]	1327 [52 in.]	1342 [53 in.]	1499 [59 in.]	1499 [59 in.]
X	1808 [71 in.]	1808 [71 in.]	2124 [84 in.]	2124 [84 in.]	2020 [80 in.]	2167 [85 in.]
Max Lift for Maintenance	29,000 kg	32,000 kg	48,000 kg	54,000 kg	68,000 kg	106,000 kg
Capacity	1780 - 2730 tph	1650 - 2560 tph	1800 - 3160 tph	1750 - 2920 tph	3700 - 5485 tph	5485 - 8200 tph
OSS Range	125 [5 in.]-175 [7 in.]	125 [5 in.]-175 [7 in.]	125 [5 in.]-200 [8 in.]	125 [5 in.]-200 [8 in.]	175 [7 in.]-225 [9 in.]	175 [7 in.]-275 [11 in.]
Motor*	375 kW - 500 HP	375 kW - 500 HP	450 kW - 600 HP	450 kW - 600 HP	600 kW - 800 HP	750 kW - 1000 HP

*Ultra Duty (UD) versions are available in the 1370 x 1950 (54 x 77) & 1525 x 2790 (60 x 113)



Analizador Microlog AX de SKF

Colector avanzado de datos/analizador FFT

El Analizador Microlog AX es el analizador de pantalla grande más avanzado que ofrece SKF en la actualidad. Las características del Microlog AX permiten capturar rápidamente una amplia gama de vibraciones.

El analizador proporciona la flexibilidad necesaria para brindar soporte a las aplicaciones más importantes de su programa de mantenimiento predictivo.

Principales características

- Medición simultánea triaxial o de cuatro canales para adquisición rápida de datos.
- Procesador Xscale a 806 MHz, que proporciona mayor velocidad de visualización en tiempo real.
- Robusto, a prueba de polvo/agua, diseño bajo norma IP65 para entorno industrial.
- Batería de litio recargable de hasta ocho horas de toma de datos continua.
- Pantalla color VGA de 6,4" que facilita la visualización y análisis con cualquier tipo de luz.

Combina con el software SKF @ptitude para análisis detallado y preparación de reportes

El Microlog AX combina a la perfección con el software SKF @ptitude Analyst 4.1 mono-usuario y puede ser conectado en red utilizando SKF @ptitude Monitoring Suite. El agregado de SKF @ptitude Decision Support permite la comunicación con su centro CMMS o EAM y automatiza la toma de decisiones de mantenimiento mediante la identificación de posibles fallas y la recomendación de la acción apropiada.

Módulos de aplicación para un Microlog AX a medida del usuario

El Microlog AX tiene un diseño modular que permite a los usuarios seleccionar



Microlog AX es un colector portátil / analizador FFT completamente equipado, con 4 canales y alto rendimiento en ruta o fuera de ruta.

los módulos de aplicación según los requerimientos individuales.

Modelo AX-M

Provisto de Módulo de Análisis de cuatro canales fuera de ruta/bicanal o ruta triaxial simultánea, y Módulo de Balanceo de dos canales. El AX-M puede ampliarse a AX-S o a AX-F.

Modelo AX-S

Todas las características AX-M con módulos de Ensayo de impacto y de Grabación de datos.

Modelo AX-F

Mejora aún más la capacidad mediante el agregado de los módulos Arranque/Parada (RuCd), Función Respuesta en Frecuencia (FRF) y Control de Conformidad.

Todos los módulos se pueden solicitar por separado.



Analizador Microlog AX

El Microlog AX elimina las dificultades inherentes al monitoreo de condición mediante el análisis de vibraciones y variables de proceso, utilizando cuatro canales de medición fuera de ruta y balanceo estático o dinámico en uno o dos planos entre los rangos 10 CPM (0,16 Hz) hasta 4.800.000 CPM (80 kHz). Realiza evaluación de rodamientos utilizando la tecnología de envolvente de aceleración (gE) de SKF, ampliamente comprobada en la industria. El Microlog AX de SKF incorpora los últimos avances en electrónica analógica y digital, incluyendo procesamiento digital de señal (DSP) y convertidores A/D de alta resolución Sigma-Delta, para ofrecer precisión y velocidad en el proceso de recopilación de datos.

Un poderoso software para completar su sistema de análisis

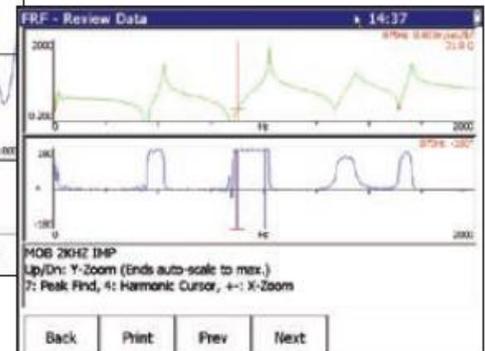
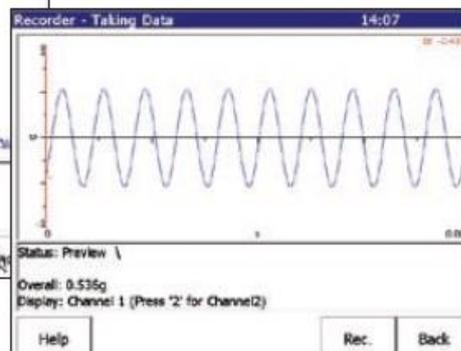
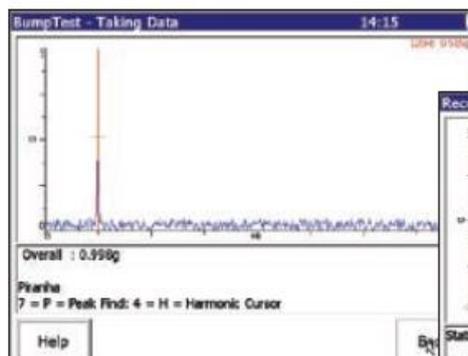
El SKF@ptitude Analyst proporciona almacenamiento, análisis y recuperación de datos de máquinas complejas de manera rápida, eficiente y confiable y permite que la información esté accesible para toda la organización.

- Fácil de aprender a utilizar tanto para usuarios experimentados como para principiantes
- Interconectividad con otros programas y sistemas
- Opciones de preferencia que permiten que el SKF @ptitude Analyst trabaje como usted trabaja.

El SKF @ptitude Analyst es parte de SKF Monitoring Suite, un paquete completo de software que integra los datos de una amplia gama de dispositivos colectores portátiles y en línea de SKF.



Microlog AX proporciona una rápida recolección y análisis de datos. Su gran pantalla facilita la visualización con cualquier tipo de luz.



Módulo de Ensayo de Impacto

Se trata de una prueba de impacto realizada para excitar la máquina y medir sus frecuencias naturales. Esto ayuda a determinar si los niveles elevados de ruido o de vibraciones provienen de la resonancia, o si hay un problema potencial en la maquinaria.

Módulo de Grabación de Datos

Las señales de los sensores conectados al AX se registran en forma digital y se almacenan como archivos estándar WAV. Estos archivos se pueden enviar por correo electrónico o transferir directamente al SKF @ptitude Analyst para postprocesamiento. La capacidad de almacenamiento de las tarjetas de memoria SD permite al usuario grabar una gran cantidad de datos sin procesar en forma continua.

Módulo Función Respuesta en Frecuencia

El módulo FRF establece las propiedades mecánicas estructurales (masa, rigidez y amortiguamiento) mediante el análisis modal realizado con martillo calibrado. Las mediciones se pueden exportar para calcular y modelar los modos. El módulo también mide la función transferencia (ratio) entre dos transductores mientras una máquina está funcionando. Las mediciones se pueden exportar para calcular y animar las formas de deflexión operativa (ODS).

Especificaciones

Performance

- Entrada de señales: acelerómetro, velocidad, desplazamiento (manual o a través de transductores instalados), sensores CA/CC, sensores de presión, sensores de temperatura, tacómetro y entrada manual.
- Parámetros de medición: aceleración, velocidad, desplazamiento, gE, temperatura, fase, voltaje, especificados por el usuario.
- Tipos de medición: global, espectro, tiempo, forma de onda de tiempo, fase, órbitas, centro de eje.
- Canales de entrada:
 - Canal 1: conector Fischer de 6 pines C1, C2, C3, C4 (etiquetado R) (entrada CA/CC/ICP™), salida luz estroboscópica
 - Canal 2: conector Fischer de 6 pines, C2 y C3 (entrada CA/CC/ICP™), salida tacómetro +5 V
 - USB HOST/C R/: conector Fischer R de 7 pines (entrada ICP™/CA/CC), USB HOST, salida audio
 - USB DEV/TRIG/PWR: conector Fischer de 7 pines a USB DEV, cargador, entrada disparador salida tacómetro +5 V
- Rango señal de entrada: máximo ±25 V
- Señal: RMS/Peak / Pk-Pk / True Peak / True Pk-Pk
- Integridad de voltaje de polarización (detección de Circuito abierto y Cortocircuito)
- Rango automático: si
- Rango dinámico: >90 dB

- Rango de frecuencia: CC a 80 kHz
- Condición del rodamiento: gE
- Filtro gE:
 - 5 Hz a 100 Hz
 - 50 Hz a 1 kHz
 - 500 Hz a 10 kHz
 - 5 kHz a 40 kHz
- Resolución FFT: 100 a 25 600 líneas
- Longitud de bloque: 256 a 65 536 muestras
- Promedio: RMS, Time, Peak Hold
- Alarmas: Global y Espectro (Peak y RMS)

Carcasa

- Tamaño:
 - Longitud: 220 mm (8.7 pulg.)
 - Altura: 220 mm (8.7 pulg.)
 - Ancho: 71 mm (2.8 pulg.)
- Peso: 1,54 kg (3.4 lb.)
- Pantalla: 6.4" TFT VGA, LCD, color, iluminada con luz posterior (resolución 640 x 480, 18 bits)

Condiciones ambientales

- Sellado: EN60529 IP 65 (a prueba de polvo y agua)
- Ensayo de caídas: 1,2 m – a MIL STD-810F (con soporte retraído)
- Rango de temperaturas:
 - Temperatura de operación: –10 a +60 °C (14 a +140 °F)
 - Temperatura de almacenamiento: –20 a +60 °C (–4 a +140 °F)
 - Humedad: 10 a 90% humedad relativa, sin condensación desde 0 hasta +50 °C (32 a +122 °F)

- Vibración: MIL STD-810 transporte
- Certificaciones:
 - Certificación de la CE
 - CSA Clase I, División 2, Grupos A, B, C, D,
 - Código de temperatura: T4A@Ta=50C

Sistema

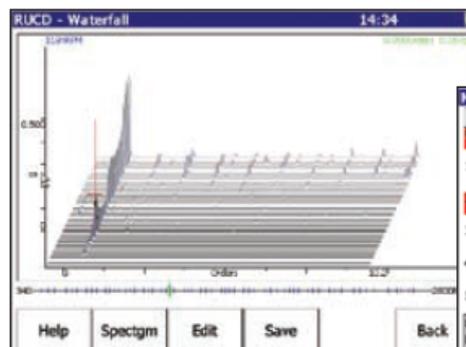
- Comunicación:
 - USB 1.1 (panel posterior y estación de acoplamiento)
 - Protocolo Microlog y Microsoft Active Sync
- Indicadores usuario: LED's azul, verde, ámbar y rojo
- Batería: Ion-litio 6600 mAh con gas integrado (mínimo ocho horas de medición continua)
- Batería recargable: internamente a través de la estación de acoplamiento o mediante cargador externo.
- Sistema Operativo: Microsoft Windows incorporado CE 6.0
- Procesador: Marvell 806 MHz PXA320
- DSP: Freescale DSP56311

Memoria

- Interna RAM:
 - 128 MB DDR SDRAM
 - 128 MB NAND Flash
- Tarjeta de memoria SD: hasta 4 GB

Software Servidor

- El SKF Microlog AX series requiere SKF @plitude Analyst versión 4.1 o superior y comunicación USB.



Pos	Dir	um rms	mm/s rms
0	Hor	1000	117
	Ver	1000	117
1	Hor	...	...
	Ver	...	...
2	Hor	1000	117
	Ver	1000	117
3	Hor	...	...
	Ver	...	...
4	Hor	...	...
	Ver	...	...
5	Hor	...	...
	Ver	...	...

Use up/down arrows to select measurement.
Press Fire to take measurement.
Left/right arrows toggle between grade/value.

Módulo de Arranque/Parada

Este módulo analiza los datos de las máquinas en las que el ruido o los niveles de vibración cambian debido a velocidad, tiempo o carga (aplicaciones que provocan fenómenos transitorios) para establecer las velocidades críticas de resonancia de una máquina. De manera simultánea, el módulo captura un sonido o una señal de vibración, más señal de tacómetro, y almacena los datos como forma de onda de tiempo (un archivo WAV) para su posterior análisis.

Módulo de Control de Conformidad

La funcionalidad de control de conformidad transforma al AX en una herramienta diaria para las rutinas de inspección. Un sistema automatizado de evaluación compara los niveles de vibración con los límites establecidos, para comprobar que el producto cumple con los indicadores de calidad predefinidos o con los estándares requeridos.

Información para pedidos

Colector de Datos/ Analizador FFT Microlog AX-F de SKF

El kit estándar del Microlog AX-F [CMXA 80-F-K-SL] de SKF incluye:

- Unidad CMXA 80-F-SL , programada para cuatro canales de mediciones fuera de ruta, dos canales o ruta triaxial simultánea y balanceo estático o dinámico en uno o dos planos; ensayo de impacto, grabadora de datos, ensayo de arranque/parada, función respuesta en frecuencia y módulo de control de conformidad.
- CD-ROM, manuales de usuario, información de valor y bibliografía.
- Cable USB/energía [CMAC 5019]*
- Cable USB/A a B [CMAC 5082]
- Cubierta del conector SD /dock [CMAC 5083]
- Docking station [CMAC 5068]*
- Paquete de baterías [CMAC 5070]*
- Cable, cable de potencia, UL 110, US [CMVA 3351]*
- Adaptador [CMAC 5022]
- Dos (2) acelerómetros, bajo perfil, Certificado NI (no inflamable) [CMSS 2200]*
- Dos (2) cables, sensor, en espiral [CMAC 5209]*
- Dos (2) bases magnéticas para acelerómetro, tamaño medio, 3,81 cm (1 1/2 pulg.) diámetro [CMSS 908-MD]*
- Maletín de transporte robusto [CMAC 5069]*
- Maletín liviano [CMAC 5071]*
- Dos (2) correas de mano [CMAC 5072]*
- Correa para el hombro [CMAC 5073]*
- Dos (2) protectores de pantalla [CMAC 5074]*
- Cubiertas protectoras para conector Fischer [CMAC 5075]*
- Tarjeta de memoria (SD) 1 GB [CMAC 5077]

* Disponible también como accesorio separado

Modelo SKF Microlog AX-S: Cuatro canales fuera de ruta/dos canales o medición triaxial de ruta, módulos de balanceo, de ensayo de impacto y grabador de datos.

Modelo SKF Microlog AX-M: Cuatro canales fuera de ruta/dos canales de rutas o medición triaxial de ruta, módulo balanceo.

Actualizaciones para SKF Microlog AX

- Actualización Ensayo de Impacto, Serie AX [CMXA 80-BMP-SL]
- Actualización Grabador de datos, Serie AX [CMXA 80-REC-SL]
- Actualización Arranque/Parada, Serie AX [CMXA 80-RUCD-SL]
- Actualización Función Respuesta en Frecuencia (FRF), Serie AX [CMXA 80-FRF-SL]
- Actualización Control de conformidad, Serie AX C [CMXA 80-CTC-SL]
- Actualización de AX-M a AX-S [CMXA 80-AXM/S-SL]
- Actualización de AX-M a AX-F [CMXA 80-AXM/F-SL]
- Actualización de AX-S a AX-F [CMXA 80-AXS/F-SL]

Accesorios opcionales

Está disponible un conjunto de accesorios para complementar la serie de SKF Microlog AX.

Hardware

- Kit tacómetro láser [CMAC 5030-K]
- Soporte de referencia de fase SKF Microlog [CMSS 6156]
- Kit de balanceo SKF Microlog (con Sensor óptico) [CMCP 850-01]
- Kit de balanceo SKF Microlog (con Sensor Láser) [CMCP 850-02]
- Kit de balanceo SKF Microlog (con Sensor Láser) [CMCP 850-03]
- Pinza amperométrica CA / CC [CMAC 5208]
- Pistola infrarroja de temperatura [CMAC 4200-SL]
- Kit de referencia de fase óptica [CMSS 6155X-K-CE]
- Kit de referencia de fase láser [CMSS 6195AX-K-CE]
- Kit de martillo modal con acelerómetro para medir masas de 210 g y más [CMAC 5056-GXHK-1]
- Kit de martillo modal con acelerómetro para medir masas de 56 g y más [CMAC 5057-GXHK-2]
- Kit de martillo modal [CMAC 5058]
- Luz estroboscópica [CMSS 6165K-AX]

Acelerómetros

- Kit Acelerómetro Triaxial [CMAC 4370-K]
- Acelerómetro, sección reducida, 2 m cable integrado, provisto con base magnética. [CMSS 2111]
- Acelerómetro, alta frecuencia [CMSS 2114]
- Acelerómetro, clasificación CSA [CMSS 797-CA]

Cables

- Entrada de tacómetro BNC (1 m) [CMAC 5211]
- Cable de prolongación entrada de señal C X (5 m) [CMAC 5026]
- Cable de prolongación entrada de señal C X (10 m) [CMAC 5037]
- Tacómetro (CMAC 5030-K), cable de prolongación (5 m) [CMAC 5043]
- Tacómetro (CMAC 5030-K), cable de prolongación (10 m) [CMAC 5044]
- Convertidor, dos pines Mil/BNC [CMAC 3715]
- Cable para el acelerómetro triaxial para uso con kit de acelerómetro triaxial CMAC 4370-K [CMAC 5009]
- Cable para auricular de audio [CMAC 5023]
- Cable separador de cuatro canales, cantidad: dos (2) para tomar mediciones de cuatro canales con el SKF Microlog AX. Se requerirán cables divisores para mediciones en tres y cuatro canales [CMAC 5079]
- Cable de salida, luz estroboscópica [CMAC 5406]
- Cable de entrada, luz estroboscópica [CMAC 5404]

Accesorios Internacionales

Nota

Todas las nuevas unidades se proveerán con cables norteamericanos.

Con respecto a los cables eléctricos internacionales, se proveen dos (2) cables: el estándar norteamericano y el internacional requerido.

- Cable eléctrico, Australia [CMAC 4222-AU]
- Cable eléctrico, Suiza [CMAC 4222-CH]
- Cable eléctrico, Dinamarca [CMAC 4222-DK]
- Cable eléctrico, Europeo [CMAC 4222-EUR]
- Cable eléctrico, Israel [CMAC 4222-IL]
- Cable eléctrico, Italia [CMAC 4222-IT]
- Cable eléctrico, Japón [CMAC 4222-JP]
- Cable eléctrico, Reino Unido [CMAC 4222-UK]



CMSS 2114-K

High frequency accelerometer kit

The CMSS 2114-K is a high frequency accelerometer kit that includes a high frequency cable with an adhesive mounting base.

Specifications

Dynamic

- Sensitivity ($\pm 15\%$): 10 mVg
- Measurement range: ± 500 g peak
- Frequency range (± 3 dB): 5 to 60 000 Hz
- Non-linearity: $\leq 1\%$
- Resonance frequency: ≥ 95 kHz
- Transverse sensitivity: $\leq 5\%$

Electrical

- Power supply:
 - Voltage source: 18 to 30 V DC
 - Constant current diode: 2 to 20 mA
- Electrical noise:
 - Broadband:
 - 1 Hz to 10 kHz: 0,002 g RMS
 - Spectral:
 - 10 Hz: 160 $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$
 - 100 Hz: 40 $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$
 - 1 kHz: 15 $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$
 - 10 kHz: 10 $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$
- Output impedance: $\leq 100 \Omega$
- Bias output voltage: 8 to 12 V DC
- Discharge time constant: 0,02 to 0,06 s

Environmental

- Temperature range: -55 to $+120$ °C (-65 to $+250$ °F)
- Shock limit: 5 000 g peak
- Base strain sensitivity: $\leq 0,05$ g μ

Physical

- Dimensions: See drawing
- Weight: 6 g (0.2 oz.)
- Mounting thread: 10-32, male
- Mounting torque: 1,13 to 2,25 Nm (10 to 20 in. lbs.)
- Case material: Stainless steel
- Sealing: Welded hermetic
- Sensing element design: Ceramic, shear
- Connections: 5-44 coaxial (top)

Note: All specifications are at room temperature unless otherwise specified.



352A60 high frequency constant current accelerometer



CMAC 5062 high frequency accelerometer cable



Adhesive mounting base

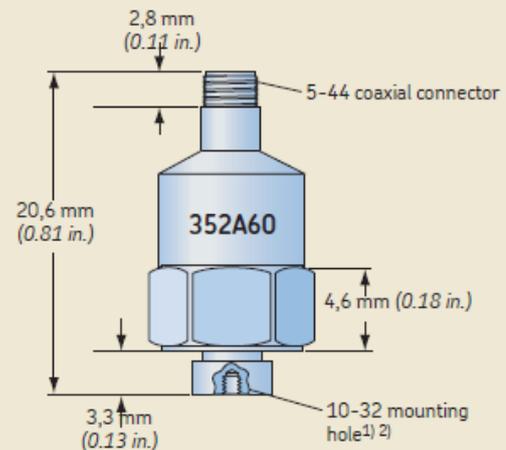
- CMXA 45
- CMXA 45/75-Z2
- CMXA 48
- CMXA 48/80-Z2
- CMXA 51-IS
- CMXA 70/44
- CMXA 75
- CMXA 80

Kit contents

- 352A60: High frequency constant current accelerometer
- CMAC 5062: High frequency accelerometer cable, Fischer type 103 six pin to a 5-44 Microdot connector
- Adhesive mounting base

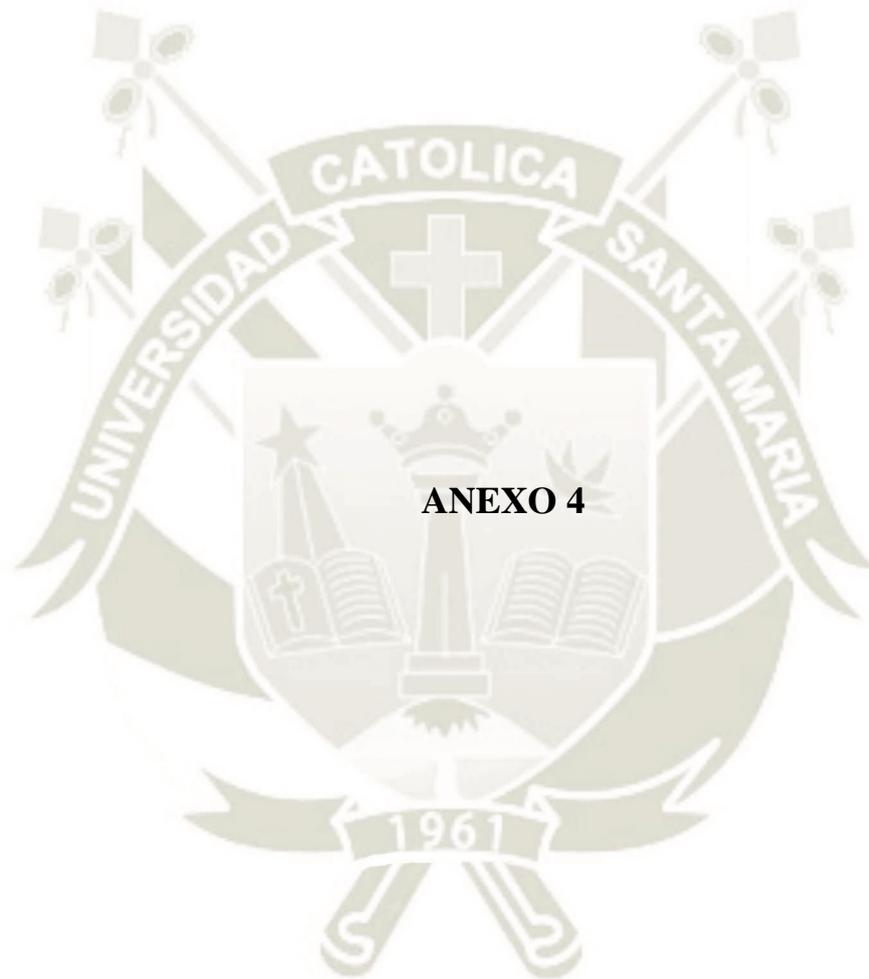
Note: Loctite 454 insensitive adhesive gel is the recommended adhesive. This item is not included in the kit.

Dimensions



- 1) Stud removed for sensor with adhesive mount option.
- 2) M6 × 0,75 thread for Metric option





dma

QS2

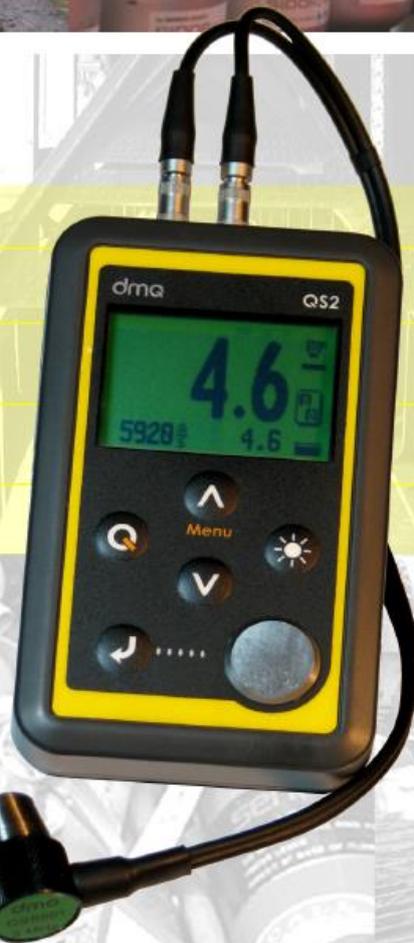
Medidor de espesores económico

Económico, sencillo y preciso

El QS2 es un medidor de espesores por ultrasonido económico, sencillo y fácil de usar. Es un equipo decimal con velocidad ajustable que permite medir sobre cualquier metal sin recubrimiento. También se pueden medir plásticos, vidrios y cerámica entre otros materiales.



Detect



Aplicaciones

Mida todo tipo de partes y estructuras metálicas

Controle el espesor en matafuegos

Muy utilizado en la industria del plástico

Mida tanques metálicos y plásticos

0	Steel
	und. Steel
	Steel 302
	Steel 304
	Steel 304
	Steel 347
	Steel 1020
	Steel 4340
	Steel f/Tool
5928	

Tabla de velocidad de materiales en la pantalla

Características Principales

- Gabinete ABS de alto impacto
- Funda protectora de silicona (opcional)
- Pantalla grafica LCD con luz de fondo tipo LED
- Solo 5 teclas
- Calibración en un punto
- Simple y muy sencillo de usar
- Velocidad ajustable
- Tabla de velocidad de materiales en pantalla
- Funciona con 2 pilas "AAA"
- 5 años de garantía en la unidad electrónica

Modelo Único

QS2
Pulso-Eco
Calibración por acople y "Enter"
Velocidad ajustable (Tabla de materiales en pantalla)
Alarma mínima
Retención del valor mínimo



La funda protectora de silicona es opcional

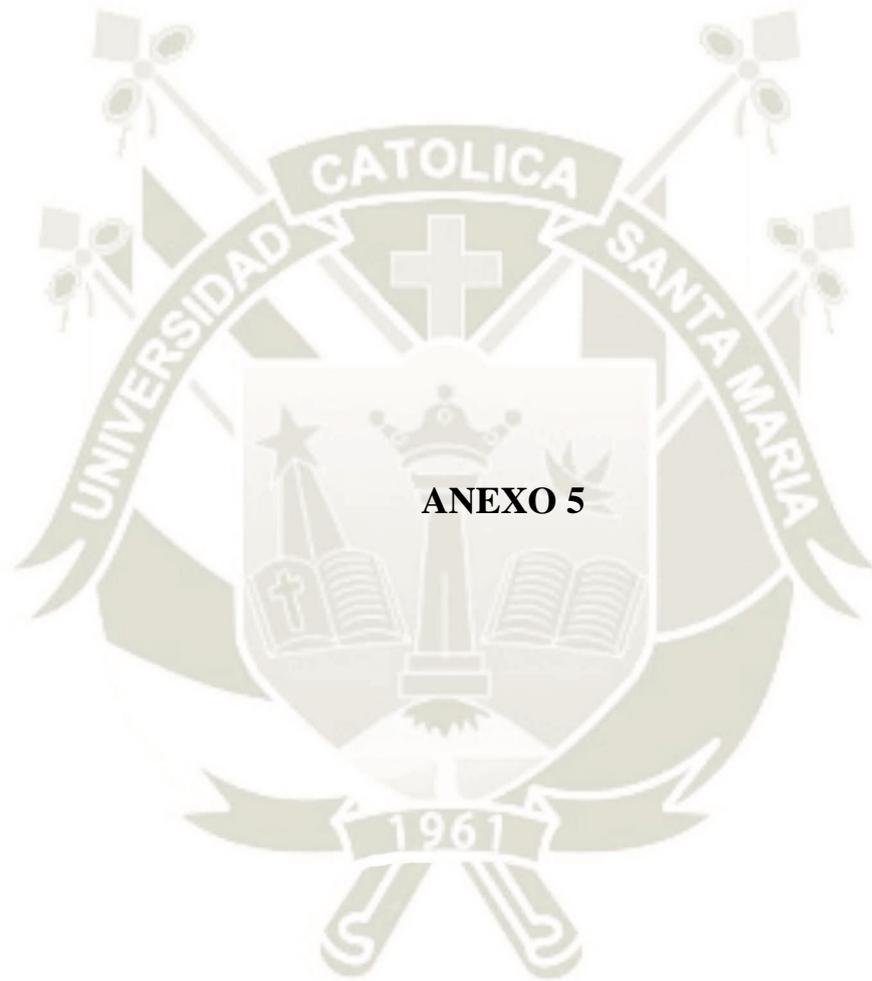
Especificaciones Técnicas

Medición	
Rango Normal	1 a 250mm (transductor 5MHz)
Rango Total	1 a 500mm (dependiendo del material y transductor)
Resolución	0.1mm
Velocidad	100 a 19999 m/s
Unidades	Métrica y Pulgada
Calibración	
Modo	Acople el transductor en el disco y presione "Enter"
Panel Frontal	
Teclas	5 teclas
Interfaz de Usuario	
Idiomas	Español, Portugués, Ingles
Manejo	Menús e Iconos
Características Físicas	
Dimensiones	78 x 117 x 24 mm
Peso	150g con pilas
Temp. de Trabajo	-10° a +50°C
Gabinete	ABS alto impacto
Alimentación	
Pilas	2 x AAA
Autonomía	Aprox. 80 horas con luz apagada
Indicador	Permanente
Apagado	Automático después de 1 minuto
Pantalla	
Dígitos	17mm
Iluminación	Tipo LED (Prendida, Apagada, Auto)
LCD	Grafico de 128 x 64 px

Presentación

- Unidad electrónica QS2
- Transductor de 5Mhz
- Gel para acople
- Guía rápida
- Maletín alto impacto
- Certificado de conformidad







El avanzado sistema láser de alineación de ejes con mejor capacidad de medición y creación de informes

Alineador de ejes SKF TKSA 41

El TKSA 41 es una solución avanzada de alineación por láser que permite conseguir una alineación precisa de ejes. Con dos unidades de medición inalámbricas, detectores de gran tamaño y potentes láseres, el instrumento realiza mediciones precisas incluso en las condiciones más difíciles. Gracias a su unidad de visualización ergonómica, con pantalla de navegación táctil intuitiva, las alineaciones se realizan de manera simple y rápida. Cuenta con características innovadoras, como la "medición libre", que ayuda a aumentar el rendimiento de la alineación. Con el objetivo de mejorar las prácticas de alineación, el alineador de ejes SKF TKSA 41 es una de las soluciones de alineación de mejor calidad y al menor precio de la industria.

- La comunicación inalámbrica mejora el manejo del instrumento y permite la alineación de aplicaciones a las que es difícil acceder desde una posición segura.
- La medición libre permite comenzar a realizar mediciones de alineación en cualquier ángulo y finalizar con un barrido angular de solo 90°.
- La medición automática permite operar el dispositivo sin utilizar las manos. El alineador detecta la posición de la cabeza y toma una medición cuando se giran las cabezas en la posición correcta.
- Después de cada alineación, se generan informes automáticos. Los informes se pueden personalizar con notas y fotografías, tomadas con la cámara incorporada, para una descripción más integral. Los informes se pueden exportar como archivos PDF.
- La vista en vivo ayuda a realizar mediciones intuitivas, y facilita la alineación horizontal y vertical.
- La biblioteca de máquinas da una visión general de todas las máquinas e informes de alineación. Para simplificar aún más la identificación de la máquina y mejorar el flujo de trabajo de alineación, se pueden utilizar códigos QR.





Datos técnicos

Designación	TKSA 41
Sensores y comunicación	29 mm (1,1 pulg.) CCD con láser lineal; inclinómetro electrónico $\pm 0,5^\circ$; cables Bluetooth 4.0 LE o USB (incluidos)
Distancia de medición del sistema	0,07 a 4 m (0,23 a 13,1 ft)
Errores de medición/resolución de la pantalla	$< 0,5\% \pm 5 \mu\text{m}/10 \mu\text{m}$ (0,4 mil)
Tipo de pantalla	Pantalla táctil LCD resistiva a color de 5,6 pulg.
Actualización de software	a través de memoria USB
Diámetros de ejes	20 a 150 mm (0,8 a 5,9 pulg.) de diámetro Hasta 300 mm (11,8 pulg.) con cadenas de extensión opcionales
Altura máx. de acoplamiento recomendada	195 mm (7,7 pulg.) con prolongadores incluidos
Sistema de montaje	2 x fijaciones en V; 2 x cadenas de 400 mm (15,8 pulg.); 2 x varillas roscadas de 150 mm (5,9 pulg.) por fijación en V; 4 x varillas de extensión de 90 mm (3,5 pulg.)
Medición de alineación	Medición en tres posiciones: 9-12-3 Medición automática en tres posiciones: 9-12-3 Medición libre en 3 posiciones (con rotación mín. de 90°)
Corrección de la alineación	Valores en vivo para corrección de la posición vertical y horizontal de la máquina; herramienta láser para pata coja
Informe de alineación	Informe automático en pdf que puede exportarse a través de una memoria USB
Batería de la unidad de visualización	hasta 8 horas de uso continuo con 100% de retroiluminación (batería recargable LiPo de 5000 mAh)
Batería de la unidad de medición	hasta 12 horas de uso continuo (batería recargable LiPo de 2000 mAh)
Dimensiones del maletín de transporte	530 x 110 x 360 mm (20,9 x 4,3 x 14,2 pulg.)
Peso total (incl. maletín)	4,75 kg (10,5 lb)
Temperatura de funcionamiento	De 0°C a 45°C (de 32 a 113°F)
Clasificación IP	IP54
Certificado de calibración	Se entrega con una validez de dos años
Garantía	2 años de garantía estándar + 1 año adicional después del registro



Se recomienda la alineación del eje en casi todas las industrias, ya que permite incrementar considerablemente el tiempo productivo de las máquinas y reducir los costos de mantenimiento. La simplicidad del TKSA 41 aporta mayor confianza a la hora de realizar las tareas de alineación en todo tipo de máquinas giratorias horizontales.



DISPONIBILIDAD MANTENIMIENTO ACTUAL

TAREAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO ACTUAL				
EQUIPO	TAREAS	FRECUENCIA (MESES)	GAMA	DURACIÓN (HORAS)
Fajas	Cambio de polines	1	A	24
Chancadora Primaria	Inspección del sistema de lubricación	1		
Alimentador de Placas / Fajas	Inspección de liners de chute	1		
Alimentador de Placas	Cambio de pernos	1		
Chancadora Primaria	Inspección colector de polvo	1		
Balanza	Regulación del sistema de pesaje de fajas	1		
Detector de metales	Regulación del detector de metales	1		
Chancadora Primaria	Cambio de mainshaft	2	B	48
Alimentador de Placas	Lanceo de Apron Feeder	2		
Alimentador de Placas / Fajas	Cambiar liners de chute	2		
Chancadora Primaria	Cambio de cóncavas del chancador	4	C	48

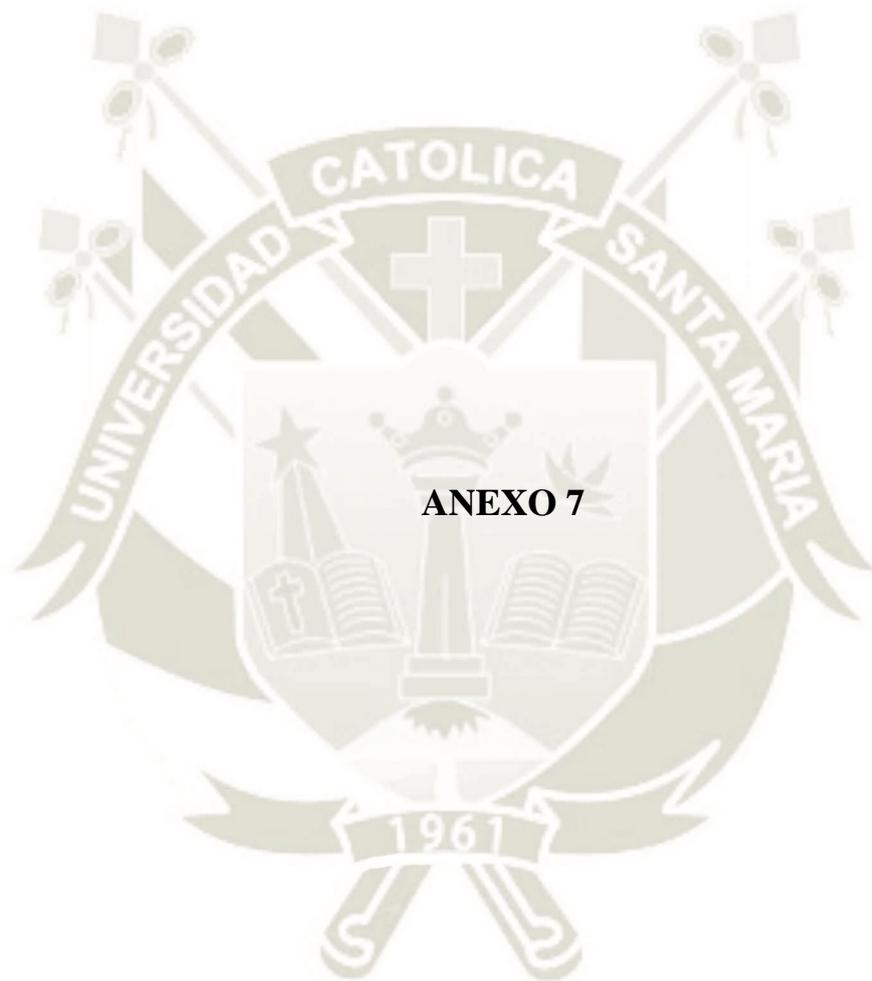
MANTENIMIENTO ACTUAL 2017												
MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
GAMAS	A+B	A	A		A+C	A	A+B	A		A+C	A	A+B
DURACIÓN (HORAS)	54.07	34.86	40.46		48.94	33.91	67.1	43.3		58.1	49.1	58.6
IMPREVISTOS (HORAS)	94.51	70.15	121.74	79.84	126.77	84.12	88.28	93.14	60.72	80.73	83.42	48.2

Cálculo de la Disponibilidad en el 2017:

- Horas Programadas: 488.44 horas
- Horas No Programadas: 1031.62 horas
- **Total: 1520.06 horas**

$$Disponibilidad\ 2017 = \frac{(12 * 720) - 1520.06}{12 * 720}$$

$$Disponibilidad\ 2017 = 82.41\%$$



DISPONIBILIDAD MANTENIMIENTO OPTIMIZADO

TAREAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO OPTIMIZADO				
EQUIPO	TAREAS	FRECUENCIA (MESES)	GAMA	DURACIÓN (HORAS)
Fajas	Cambio de polines	1	A	24
Chancadora Primaria	Inspección del sistema de lubricación	1		
Alimentador de Placas / Fajas	Inspección de liners de chute	1		
Alimentador de Placas	Cambio de pernos	1		
Chancadora Primaria	Inspección colector de polvo	1		
Balanza	Regulación del sistema de pesaje de fajas	1		
Detector de metales	Regulación del detector de metales	1		
Chancadora Primaria	Cambio de mainshaft	2	B	48
Alimentador de Placas	Lanceo de Apron Feeder	2		
Alimentador de Placas / Fajas	Cambiar liners de chute	2		
Chancadora Primaria	Cambio de cóncavas del chancador	4	C	48
Chancadora Primaria	Monitoreo por vibraciones de la transmisión	0.5	D	2
Fajas	Inspección de fajas	0.25	E	4
Fajas	Inspección de polines y bastidores	0.25		
Alimentador de Placas / Fajas	Inspección de liners de chute	0.25		

MANTENIMIENTO OPTIMIZADO												
MESES	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8	MES 9	MES 10	MES 11	MES 12
GAMAS	A+2D+4E	A+B+2D+4E	A+2D+4E	A+B+C+2D+4E	A+2D+4E	A+B+2D+4E	A+2D+4E	A+B+C+2D+4E	A+2D+4E	A+B+2D+4E	A+2D+4E	A+B+C+2D+4E
DURACIÓN (HORAS)	44	92	44	140	44	92	44	140	44	92	44	140
IMPREVISTOS (HORAS)	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28

Cálculo de la Disponibilidad con Mantenimiento Optimizado:

- Horas Programadas: 960 horas
- Horas No Programadas: 336 horas
- **Total: 1296 horas**

$$Disponibilidad\ 2017 = \frac{(12 * 720) - 1296}{12 * 720}$$

$$Disponibilidad\ 2017 = 85.00\%$$