



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,**  
**ELECTRÓNICA Y SISTEMAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**  
**ELÉCTRICA**



**“PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO  
EN LA CONFIABILIDAD, PARA LA CONCENTRADORA  
DEPÓSITOS LIXIVIALES DEL ASIEN TO MINERO  
TOQUEPALA - ILABAYA - TACNA”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. ANGEL ILLANES SOTOMAYOR**

**Bach. JOHANNES MANUEL QUISPE APAZA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PUNO – PERÚ**

**2022**



## DEDICATORIA

*A Dios, creador de todas las cosas, por darme buena salud y fortaleza en todo momento.*

*A mis padres que están en el cielo: mamá Haydee por tu incesante paciencia, amor y coraje. Papá Manuel, tu ejemplo me enseñó a caminar por la vida, por eso les dedico este trabajo en ofrenda por el amor que me tuvieron.*

*Dedico también a mis hermanos Wilber, Walker, Rosa, Elizabeth y Carmen, por sus consejos positivos y el apoyo incondicional.*

***Angel Illanes Sotomayor***



## DEDICATORIA

*Esta tesis está dedicada a mis padres Seferino y María, quienes fueron mi principal fuente de apoyo. Cuando era estudiante, mis padres me ayudaron como nadie, ellos fueron un ejemplo para mí y les debo todo.*

*A mi hijo Eyden Jareth. “Aunque aún no lo sepas eres y serás lo más importante en mi vida, hoy he dado un paso más para servir de ejemplo a la persona que más amo en este mundo. Gracias a ti he decidido subir un escalón más y crecer como persona y profesional. Que este logro sirva de herramienta para guiar cada uno de tus pasos”.*

***Johannes Manuel Quispe Apaza***



## AGRADECIMIENTO

*Agradezco a mis padres que ya descansan en el cielo: Haydee y Manuel por inculcarme como prioridad la educación, honradez y el trabajo.*

*A mis docentes de la carrera profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica por impartirme conocimientos que en la práctica me sirvió de base.*

*A mis compañeros trabajadores de la empresa Southern Perú Copper Corporation por brindarme su amistad y apoyo incondicional.*

*A mis hermanos por los buenos consejos y apoyo incondicional.*

***Angel Illanes Sotomayor***

*“Primeramente a los docentes que me guiaron en el proceso para obtener mi título universitario.*

*A toda mi familia, en especial a mis padres Seferino y María por creer en mí.*

*A mis amigos por apoyarme y darme fuerzas.”*

***Johannes Manuel Quispe Apaza***



# ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTO**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**INDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN ..... 14**

**ABSTRACT..... 15**

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCION**

**1.1 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO ..... 18**

**1.2 DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO ..... 19**

**1.3 HIPÓTESIS GENERAL ..... 19**

1.3.1 Hipótesis específicas ..... 19

**1.4 OBJETIVOS ..... 20**

1.4.1 Objetivo general ..... 20

1.4.2 Objetivos específicos ..... 20

1.4.3 Variables ..... 20

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

**2.1 DEFINICIÓN DE MANTENIMIENTO ..... 21**

2.1.1 Disponibilidad ..... 23

2.1.2 Mantenibilidad ..... 23

2.1.3 Mantenimiento correctivo ..... 24

2.1.4 Mantenimiento preventivo (MP) ..... 24



2.1.5	Mantenimiento predictivo.....	25
2.1.6	Confiabilidad (R) .....	26
2.1.7	Mantenimiento centrado en la confiabilidad .....	26
2.1.8	Análisis de modos y efectos de fallas .....	28
2.1.8.1	El fallo y su naturaleza .....	32
2.1.8.2	Fallo .....	32
2.1.8.3	Patrones de fallo .....	32
2.1.8.4	Fallo funcional .....	34
2.1.8.5	Fallo funcional potencial .....	34
2.1.8.6	Modos de fallo .....	34
2.1.8.7	Fiabilidad .....	34
2.1.8.8	Función requerida .....	35
2.1.9	Modo de falla .....	35
2.1.10	Análisis de los modos de fallo .....	35
2.1.11	Efectos de la falla.....	36
2.1.12	Criticidad .....	36
2.1.13	La distribución Weibull .....	38
2.1.14	Diagrama de Pareto.....	41
<b>2.2</b>	<b>PLANTA DEPÓSITOS LIXIVIABLES.....</b>	<b>42</b>
2.2.1	Sistema de chancado (trituration).....	43
2.2.1.1	Chancador giratorio .....	43
2.2.1.2	Araña.....	44
2.2.1.3	Cuerpo.....	45
2.2.1.4	Conjunto eje piñón y eje de extensión .....	45
2.2.1.5	Conjunto de la excéntrica .....	46
2.2.1.6	Sistema de lubricación/enfriamiento .....	47
2.2.1.7	Conjunto cilindro hidráulico para posicionamiento del poste.....	48



2.2.1.8	Revestimientos.....	48
2.2.1.9	Sistema sellado de polvo. ....	49
2.2.2	Sistema de transporte de mineral .....	50
2.2.3	Formación de depósitos lixiviables.....	51

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

<b>3.1</b>	<b>MATERIALES DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>53</b>
3.1.1	Tipo de investigación.....	53
<b>3.2</b>	<b>MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>55</b>
3.2.1	Diagnóstico de los sistemas, sub sistemas y componentes de la Concentradora Depósitos Lixiviables.....	55
3.2.2	Análisis de modos y efectos de falla.....	55
3.2.3	Determinación de la criticidad de los sub sistemas de la Concentradora Depósitos Lixiviables. ....	57
3.2.3.1.	Análisis de criticidad .....	58
3.2.4	Determinación de la confiabilidad mediante los parámetros de Weibull .....	61

### **CAPÍTULO IV**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

<b>4.1.</b>	<b>DIAGNÓSTICO DE LOS SISTEMAS, SUB SISTEMAS Y COMPONENTES DE LA CONCENTRADORA DEPÓSITOS LIXIVIALES.....</b>	<b>66</b>
<b>4.2.</b>	<b>ANÁLISIS DE MODOS, EFECTOS DE FALLA Y CRITICIDAD (AMEF) DEL SUB SISTEMA DE CHANCADO. ....</b>	<b>67</b>
<b>4.3.</b>	<b>COMPONENTES CRÍTICOS DE LA CONCENTRADORA DE DEPÓSITOS LIXIVIALES. ....</b>	<b>74</b>
4.3.1.	Análisis de criticidad .....	74



<b>4.4. CÁLCULO DE LA CONFIABILIDAD MEDIANTE LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LA DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL.....</b>	<b>86</b>
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>97</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>98</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>99</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>102</b>

**ÁREA :** Mecánica

**TEMA:** Mantenimiento

**FECHA DE SUSTENTACION:** 11 de agosto del 2022



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura N° 1:</b> Tareas básicas de mantenimiento. ....	22
<b>Figura N° 2:</b> Intervalo fallo potencial a fallo funcional.....	26
<b>Figura N° 3:</b> Siete preguntas claves del MCC.....	28
<b>Figura N° 4:</b> Secuencia de RCM .....	30
<b>Figura N° 5:</b> Análisis RPN .....	32
<b>Figura N° 6:</b> Patrones de fallas .....	33
<b>Figura N° 7:</b> Volumen de riesgo.....	37
<b>Figura N° 8:</b> Curva de la bañera o de Davies. ....	38
<b>Figura N° 9:</b> Gráfico de la función de fiabilidad de Weibull .....	39
<b>Figura N° 10:</b> Gráfico la distribución biparametrica de Weibull .....	39
<b>Figura N° 11:</b> Gráfico de la función de riesgo de Weibull.....	40
<b>Figura N° 12:</b> Parámetro de forma $\beta$ de Weibull.....	41
<b>Figura N° 13:</b> Diagrama de Pareto.....	42
<b>Figura N° 14 :</b> Triturador giratorio.....	44
<b>Figura N° 15 :</b> Araña.....	44
<b>Figura N° 16 :</b> Estructura Principal .....	45
<b>Figura N° 17 :</b> Eje Principal.....	46
<b>Figura N° 18 :</b> Conjunto de la excéntrica .....	46
<b>Figura N° 19 :</b> Lubricación enfriamiento .....	47
<b>Figura N° 20 :</b> Conjunto cilindro hidráulico .....	48
<b>Figura N° 21 :</b> Revestimientos.....	49
<b>Figura N° 22 :</b> Sello de polvo .....	50



<b>Figura N° 23</b> : Componentes de la faja .....	51
<b>Figura N° 24</b> : Diagrama de flujo .....	52
<b>Figura N° 25</b> : Proceso del AMEF y criticidad .....	56
<b>Figura N° 26</b> : Área 1300 Formación de depósitos lixiviables.....	65
<b>Figura N° 27</b> : Boca de chancadora.....	67
<b>Figura N° 28</b> : Diagrama de Pareto Planta de depósitos.....	75
<b>Figura N° 29</b> : Diagrama de Pareto Transporte de material.....	81
<b>Figura N° 30</b> : Diagrama de Pareto Faja fija 1100 CV 001.....	82
<b>Figura N° 31</b> : Diagrama de registro de eventos faja extensible 1300 CV 017.....	83
<b>Figura N° 32</b> : Gráfica Weibull .....	88
<b>Figura N° 33</b> : Gráfica Confiabilidad motor eléctrico.....	90
<b>Figura N° 34</b> : Gráfica Infiabilidad motor eléctrico .....	91
<b>Figura N° 35</b> : Resultados contrastación de hipótesis.....	94
<b>Figura N° 36</b> : Contrastacion de hipótesis del análisis de criticidad.....	95
<b>Figura N° 37</b> : Contrastación de hipótesis de la confiabilidad.....	96



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Condición de operación .....	55
<b>Tabla 2:</b> Hoja de trabajo de AMEF.....	57
<b>Tabla 3 :</b> Clasificación Gravedad (S).....	58
<b>Tabla 4 :</b> Clasificación Ocurrencia (O).....	59
<b>Tabla 5 :</b> Clasificación Detección (D) .....	59
<b>Tabla 6 :</b> Clasificación Criticidad .....	60
<b>Tabla 7 :</b> Acción de mantenimiento.....	60
<b>Tabla 8 :</b> Registro de datos de los parámetros Weibull .....	64
<b>Tabla 9 :</b> Diagnóstico .....	66
<b>Tabla 10 :</b> Análisis AMEF Araña .....	68
<b>Tabla 11 :</b> Análisis AMEF Poste .....	68
<b>Tabla 12 :</b> Análisis AMEF Conjunto eje piñón y extensión .....	69
<b>Tabla 13 :</b> Análisis AMEF Excéntrica.....	70
<b>Tabla 14 :</b> Análisis AMEF Hidroset.....	70
<b>Tabla 15 :</b> Análisis AMEF Revestimientos.....	71
<b>Tabla 16 :</b> Análisis AMEF Lubricación.....	72
<b>Tabla 17 :</b> Análisis AMEF Unidad hidráulica.....	73
<b>Tabla 18 :</b> Análisis AMEF Motor eléctrico.....	73
<b>Tabla 19 :</b> Registro de eventos planta.....	74
<b>Tabla 20 :</b> Clasificación Gravedad (S).....	76
<b>Tabla 21 :</b> Clasificación Ocurrencia (O).....	76
<b>Tabla 22 :</b> Clasificación Detección (D) .....	77
<b>Tabla 23 :</b> Clasificación Criticidad .....	77



<b>Tabla 24</b> : Análisis de criticidad sub sistema de trituración. ....	78
<b>Tabla 25</b> : Acción de mantenimiento.....	79
<b>Tabla 26</b> : Acciones de mantenimiento sub sistema de trituración.....	80
<b>Tabla 27</b> :Registro de eventos sub sistema de transporte de material.....	81
<b>Tabla 28</b> : Registro de eventos Faja fija 1100 CV 001.....	82
<b>Tabla 29</b> :Registro de eventos faja extensible 1300 CV 017.....	83
<b>Tabla 30</b> : Análisis de criticidad sub sistema de transporte de mineral. ....	84
<b>Tabla 31</b> : Acciones de mantenimiento sub sistema de transporte de material .....	85
<b>Tabla 32</b> : Registro de fallas de motor eléctrico. ....	86
<b>Tabla 33</b> : Rango promedio de fallas motores eléctricos.....	87
<b>Tabla 34</b> : Parámetros X, Y de la distribución Weibull.....	88
<b>Tabla 35</b> : Cálculo de la confiabilidad. ....	89
<b>Tabla 36</b> : Estimación de la infiabilidad. ....	90
<b>Tabla 37</b> : Diagnostico de los Sub Sistemas .....	93
<b>Tabla 38</b> : Valores críticos de la distribución $t$ de student.....	93
<b>Tabla 39</b> : Elementos Críticos.....	95
<b>Tabla 40</b> : Resultados obtenidos de confiabilidad .....	96



## INDICE DE ACRÓNIMOS

$\gamma$	Parámetro de posición
$\theta$	Parámetro de escala o característica de vida útil
$\beta$	Parámetro de forma
RCM	Mantenimiento basado en la confiabilidad
R (t).	Confiabilidad
F (t).	Infiabilidad
Pieza	Elemento físico no divisible de un mecanismo.
Equipo	Conjunto de componentes interconectados de una instalación.
Hr.	Horas
AMEF	Análisis de modos y efectos de fallos
AMEFC	Análisis de modos y efectos de fallos y su criticidad



## RESUMEN

La disponibilidad de las instalaciones, junto con los diversos equipos y componentes, dependen de la manera cómo se lleva a cabo la Gestión de Mantenimiento, en ese sentido, en el presente proyecto de tesis se ha propuesto un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad para la Concentradora Depósitos Lixiviables del asiento minero Toquepala - Ilabaya – Tacna; que es el objetivo general del presente estudio. Como objetivos específicos se plantea, diagnosticar la situación actual de los sistemas, sub sistemas y componentes; establecer la criticidad de los sub sistemas y determinar la confiabilidad mediante los parámetros característicos de la distribución de Weibull. Para lo cual se utilizó los datos históricos de los eventos registrados de los diferentes componentes que se encuentran en operación, esto nos llevó a realizar acciones adecuadas del mantenimiento. Como resultados obtenidos y de acuerdo a los objetivos establecidos en el presente estudio; de acuerdo al análisis de modos y efectos de falla y criticidad de los subsistemas pertenecientes a la concentradora de depósitos lixiviables, se determinó las acciones y recomendaciones correspondientes para los planes de mantenimiento de los componentes de los sistemas de acuerdo al análisis de criticidad efectuado, se logró determinar un equipo crítico en la faja fija extensible 1300-CV-017 en la que se recomienda acciones de rediseño, estas acciones pretenden mejorar la confiabilidad y disponibilidad del sistema, la distribución de Weibull de acuerdo a los registros de las fallas para el componente crítico nos permite establecer los periodos de mantenimiento preventivo para el motor de la faja fija extensible 1300-CV-017 mientras se realiza el rediseño del componente.

**Palabras clave:** Confiabilidad, criticidad, disponibilidad, falla, función.



## ABSTRACT

The availability of the facilities, along with the various equipment and components, depends on the way Maintenance Management is carried out, in this sense, in this thesis project a maintenance plan based on reliability has been proposed for the Concentrator Leachable Deposits of the mining site Toquepala - Ilabaya - Tacna; which is the general objective of this study. The specific objectives are to diagnose the current situation of the systems, sub-systems and components; to establish the criticality of the sub-systems and to determine the reliability by means of the characteristic parameters of the Weibull distribution. For which we used the historical data of the events recorded for the different components that are in operation, this led us to carry out appropriate maintenance actions. As results obtained and according to the objectives established in this study; according to the analysis of failure modes and effects and criticality of the subsystems belonging to the leach deposit concentrator, the corresponding actions and recommendations were determined for the maintenance plans of the components of the systems according to the criticality analysis carried out, it was possible to determine a critical equipment in the extensible fixed belt 1300-CV-017 in which redesign actions are recommended, These actions are intended to improve the reliability and availability of the system. The Weibull distribution according to the failure records for the critical component allows us to establish the preventive maintenance periods for the motor of the extensible fixed belt 1300-CV-017 while the redesign of the component is being carried out.

**Key words:** Availability, criticality, failure, function, reliability.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCION

Los procedimientos y condiciones en los que un análisis de mantenimiento centrado en la fiabilidad y el plan de mantenimiento preventivo resultante pueden ser homologados con los requisitos de la Inspección de renovación continua de maquinaria (Klasfikasi, 2012).

El mantenimiento define el conjunto de acciones realizadas sobre el elemento para conservarlo o devolverlo a un estado determinado. El mantenimiento se ocupa, por tanto, del mantenimiento preventivo, realizado a intervalos predeterminados, por ejemplo, para reducir los fallos por desgaste, y el mantenimiento correctivo, que se lleva a cabo cuando se produce un fallo y tiene por objeto devolver el equipo a un estado en el que pueda desempeñar la función requerida (Birolini, 2017).

La mejor manera de llevar a cabo un plan de mantenimiento preventivo basado en confiabilidad es mediante un equipo multidisciplinario que reúna de forma sinérgica diferentes perspectivas y puntos de vista técnicos. Un enfoque de equipo garantiza que toda la información necesaria disponible en la organización de la empresa se tenga en cuenta en el análisis de confiabilidad, además de proporcionar una percepción más amplia de los riesgos de fallo y de las tareas de mantenimiento efectivas (Mobley & Wikoff, 2008).

El equipo de mantenimiento debe tener la experiencia necesaria para identificar y analizar todos los factores y sus implicaciones para el funcionamiento de la maquinaria. Si durante la priorización de riesgos de confiabilidad, se determina de forma inexacta que los escenarios de fallo tienen un riesgo bajo, el análisis de confiabilidad podría afectar a los esfuerzos de mantenimiento de los componentes relacionados, lo que daría lugar a una



situación de peligro. El personal con conocimientos técnicos y de análisis de riesgos es esencial para que el programa funcione eficazmente (Klasfikasi, 2012).

El objetivo principal del mantenimiento basado en la confiabilidad es proporcionar una investigación exhaustiva, sistemática y documentada que establezca las condiciones de fallo importantes del sistema o subsistemas de la maquinaria, las tareas de mantenimiento o los rediseños de sistemas/equipos elegidos para reducir la frecuencia de tales ocurrencias, y la justificación del inventario de repuestos (Klasfikasi, 2012).

Un análisis del modo de fallo y sus efectos (FMEA) es un procedimiento de evaluación del diseño utilizado para identificar los posibles modos de fallo y determinar el efecto de cada uno de ellos en el rendimiento del sistema (Mobley & Wikoff, 2008).

En el capítulo I, se ha realizado el planteamiento de la presente investigación que tiene como objetivo general realizar la propuesta de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para la Concentradora Depósitos Lixiviables del Asiento Minero Toquepala - Ilabaya – Tacna.

En el capítulo II, se realiza la elaboración organizada y detallada de los conceptos referidos al mantenimiento basado en la confiabilidad principalmente; así mismo de los principales componentes de la Concentradora Depósitos Lixiviables del Asiento Minero Toquepala - Ilabaya – Tacna.

En el capítulo III, se ha planteado método y los materiales de la investigación que nos permite realizar el proceso para poder lograr desarrollar los objetivos planteados en la presente investigación.

En el capítulo IV, de acuerdo a la metodología sugerida, se obtienen los resultados correspondientes para cada objetivo específico planteado en la presente investigación.



## 1.1 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La disponibilidad de las instalaciones, de la Concentradora Depósitos Lixiviables del Asiento Minero Toquepala - Ilabaya – Tacna, están de acuerdo cómo se aplica la Gestión de Mantenimiento, por tal motivo se ha considerado realizar la presente investigación con el fin de proponer un Modelo de mantenimiento centrado en la confiabilidad, para la Concentradora Depósitos Lixiviables del Asiento Minero Toquepala - Ilabaya - Tacna.

Plantear un modelo de Gestión de mantenimiento que considere la criticidad de los elementos y componentes de la Concentradora Depósitos Lixiviables del Asiento Minero Toquepala - Ilabaya - Tacna, es el objetivo del presente proyecto investigación.

La propuesta de este modelo será importante para las empresas del sector, al proponer la posibilidad de lograr un beneficio de manera directa, permitiendo mejorar la disponibilidad y confiabilidad de sus instalaciones. También, es un beneficio para los clientes, porque contribuye a garantizar la satisfacción de sus necesidades en el tiempo requerido y con la calidad especificada.

El estudio planteado, se justifica en cuanto la falta de mantenimiento preventivo planificado en los equipos ocasiona constantes interrupciones del servicio que prestan estas maquinarias ocasionando pérdidas importantes de tiempo lo que ocasiona retraso en la planificación de los trabajos programados.

Aplicando una filosofía de mantenimiento adecuada combinada con controles estadísticos nos proporcionarán información que nos permita obtener variables de comportamiento de los equipos, lo que a su vez permita diseñar estrategias de mantenimiento preventivo incrementando la disponibilidad de los equipos. La aplicación de un sistema organizado de mantenimiento, nos permitirá reducir, y quizá hasta eliminar,



las paradas no programadas de la maquinaria siendo esto un gran aporte para las empresas del sector que se beneficiaran directamente.

## **1.2 DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO**

Con el desarrollo de esta investigación se desea realizar una propuesta de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad, para la Concentradora Depósitos Lixiviables del Asiento Minero Toquepala - Ilabaya - Tacna con el fin de disminuir las paradas no programadas. Aplicando el análisis los componentes y sub componentes teniendo en cuenta la criticidad y frecuencia de fallas que son necesarias para el mantenimiento, con la finalidad de minimizar los tiempos de paradas por mantenimiento correctivo. El presente estudio de investigación se realiza para el área de mantenimiento para la Concentradora Depósitos Lixiviables del Asiento Minero Toquepala - Ilabaya - Tacna.

## **1.3 HIPÓTESIS GENERAL**

La aplicación del programa de Mantenimiento basado en la confiabilidad, facilita la prevención de las fallas de la Concentradora Depósitos Lixiviables del Asiento Minero Toquepala - Ilabaya - Tacna.

### **1.3.1 Hipótesis específicas**

- El diagnóstico de los sistemas, sub sistemas y componentes de la Concentradora Depósitos Lixiviables, permite determinar sus funciones, fallas funcionales y modos de falla.
- El análisis de criticidad permite identificar los equipos críticos de la Concentradora Depósitos Lixiviables después de realizar un análisis de criticidad.
- Los parámetros característicos de la distribución de Weibull, permite elaborar el



plan de mantenimiento basado en la confiabilidad.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo general**

Realizar la propuesta de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para la Concentradora Depósitos Lixiviables del Asiento Minero Toquepala - Ilabaya - Tacna.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Diagnosticar la situación actual de los sistemas, sub sistemas y componentes de la Concentradora Depósitos Lixiviables.
- Determinar la criticidad de los sub sistemas de la Concentradora Depósitos Lixiviables.
- Determinar la confiabilidad mediante los parámetros característicos de la distribución de Weibull.

### **1.4.3 Variables**

#### **Independientes:**

Plan de mantenimiento preventivo.

#### **Dependientes:**

Confiabilidad.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

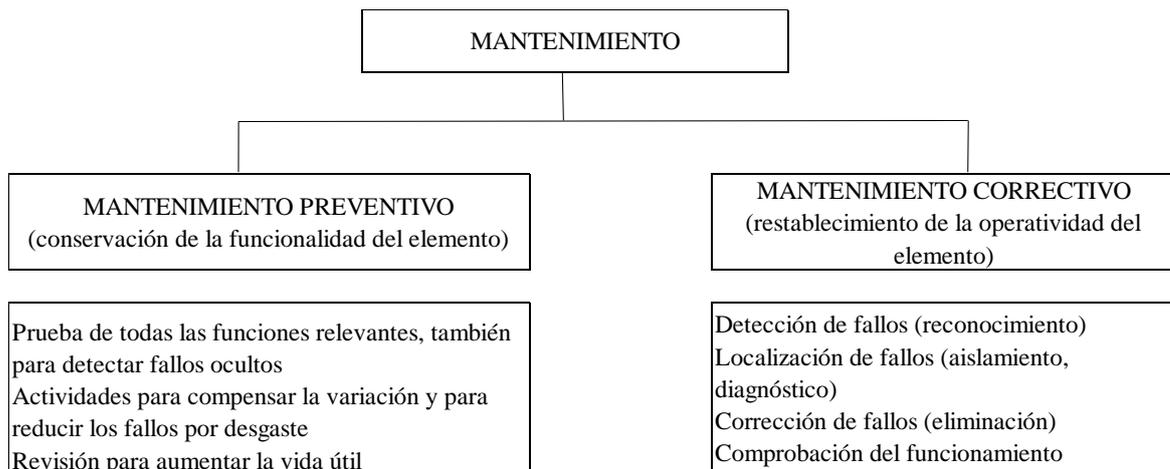
#### 2.1 DEFINICIÓN DE MANTENIMIENTO

Definimos habitualmente mantenimiento como el conjunto de técnicas destinado a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible buscando la más alta disponibilidad y con el máximo rendimiento (Garrido, 2003).

El mantenimiento define todas las acciones que se realizan sobre el elemento para conservarlo o para devolverlo a un estado determinado. Incluye, por tanto, el mantenimiento preventivo, realizado a intervalos programados, según procedimientos prescritos para reducir la probabilidad de que se produzcan fallos o se degrade la funcionalidad del elemento, y el mantenimiento correctivo, iniciado tras la detección de un fallo y destinado a un elemento específico para llevarlo a un estado en el que pueda volver a realizar la función requerida (Biolini, 2017).

El objetivo de mantenimiento es conseguir un determinado nivel de disponibilidad de producción en condiciones de calidad exigible, al mínimo coste, con el máximo nivel de seguridad y con una mínima degradación del medio ambiente (Gutiérrez, 2012).

**Figura N° 1:** Tareas básicas de mantenimiento.



Fuente: (Birolini, 2017)

La función de ingeniería de mantenimiento es de naturaleza más táctica, por ejemplo, asegurar que los activos de una planta satisfagan las demandas actuales de la empresa. Cuando el ingeniero de fiabilidad se ocupa de las necesidades de fiabilidad a largo plazo, el ingeniero de mantenimiento se ocupa de las responsabilidades de fiabilidad diarias (Mobley & Wikoff, 2008).

El papel de mantenimiento es el de incrementar la confiabilidad de los sistemas de producción al realizar actividades tales como planeación, organización, control y ejecución de métodos de conservación de los equipos (Gutiérrez, 2012).

El mantenimiento incluye, por lo tanto, el mantenimiento preventivo, realizado a intervalos programados, de acuerdo con los procedimientos prescritos para reducir la probabilidad de fallos o desgaste del equipo, y el mantenimiento correctivo, implementado tras la detección del fallo y destinado a llevar el elemento a un estado en el que pueda volver a realizar la función requerida (Birolini, 2017).

La función de mantenimiento incluye tanto la conservación como las reparaciones. Se define como: Mantener en condiciones "diseñadas" o aceptables; Evitar la pérdida de capacidades funcionales parciales o totales (Gulati, 2009).



La función principal de mantenimiento es maximizar la disponibilidad para la producción de bienes y servicios, al conservar el estado de las instalaciones, para minimizar el deterioro de los equipos; al menor costo posible (Gutiérrez, 2005).

Las actividades de mantenimiento son en su mayoría de naturaleza no repetitiva. Por lo tanto, todo el personal de mantenimiento se enfrenta a nuevos problemas con cada falla del sistema, para resolver las cuestiones conflictivas de objetivos múltiples (Ben-Daya et al., 2009).

### **2.1.1 Disponibilidad**

Es la probabilidad de que el sistema opere satisfactoriamente, cuando se requiere que funcione bien en cualquier tiempo bajo condiciones de operación normales. Le afectan todas las demoras, los mantenimientos planeados y los no planeados (Gutiérrez, 2012).

### **2.1.2 Mantenibilidad**

La mantenibilidad es la característica inherente de un elemento, asociada a su capacidad de ser recuperado para el servicio cuando se realiza la tarea de mantenimiento necesaria según se especifica (Ben-Daya et al., 2009).

La mantenibilidad es una característica del elemento, expresada por la probabilidad de que el mantenimiento preventivo (capacidad de servicio) o la reparación (reparabilidad) del elemento se realicen en un intervalo de tiempo determinado mediante procedimientos y recursos (Biolini, 2017).

En 1960 la Fuerza Aérea de los Estados Unidos inició un programa para desarrollar un enfoque de sistemas efectivos para la mantenibilidad que finalmente resultó en el desarrollo de la especificación de mantenimiento MIL-M-26512. A lo largo de los



años se han producido muchos otros avances en el campo de la mantenibilidad (Dhillon, 2006).

Desde un punto de vista cualitativo, la mantenibilidad también puede ser definida como la capacidad del equipo para ser restaurado en un estado específico (Biolini, 2017).

### **2.1.3 Mantenimiento correctivo**

Son acciones de reparación realizadas como resultado de las condiciones observadas o medidas de un activo después o antes de la falla funcional (Gulati, 2009).

La metodología básica de esta estrategia de mantenimiento es permitir que el equipo industrial funcione hasta el límite y sólo reparar o sustituir el equipo dañado cuando se produzcan problemas evidentes (Osarenren, 2015).

### **2.1.4 Mantenimiento preventivo (MP)**

Esta metodología consiste en programar actividades de mantenimiento en intervalos de tiempo predeterminados en los que se sustituye el equipo dañado antes de que se produzcan problemas evidentes (Osarenren, 2015).

Es una estrategia basada en la inspección, la sustitución de componentes y la revisión a un intervalo fijo, independientemente de su condición en el momento. Normalmente se realizan inspecciones programadas para evaluar el estado de los activos (Gulati, 2009).



### 2.1.5 Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo es una técnica para pronosticar el punto futuro de falla de un componente de una máquina, de tal forma que dicho componente pueda reemplazarse, con base en un plan, justo antes de que falle (Smith & Hinchcliffe, 2004).

Consiste en programar las actividades de mantenimiento sólo cuando las condiciones mecánicas u operativas lo justifiquen, mediante la vigilancia periódica de la maquinaria para detectar condiciones anómalas, que se produzca a lo largo del tiempo (Osarenren, 2015).

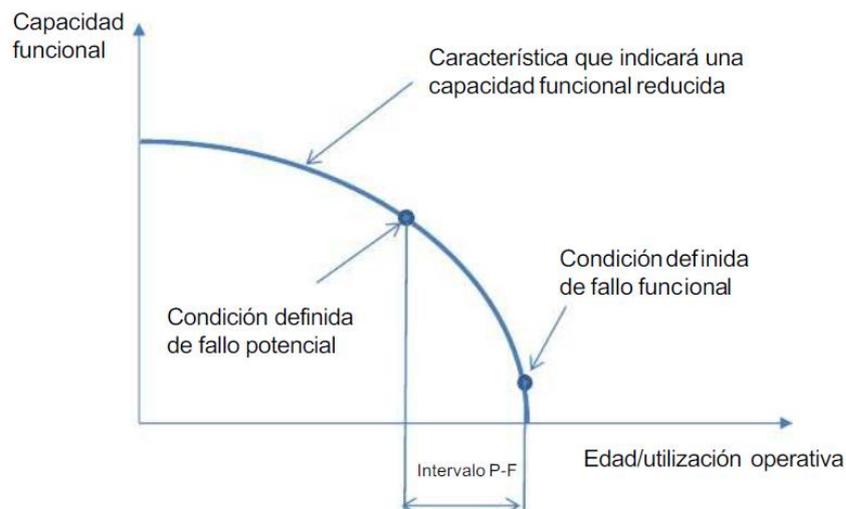
El objetivo es realizar el mantenimiento en un momento programado, cuando la actividad del mantenimiento es más rentable y antes de que el activo falle en servicio (Gulati, 2009).

El mantenimiento predictivo usa varias técnicas. La más importante de estas es el análisis de vibraciones. De todas las pruebas no destructivas, que se pueden llevar a cabo en una máquina, proporciona la información necesaria acerca de su funcionamiento interno (Smith & Hinchcliffe, 2004).

Este enfoque utiliza los principios de la estadística, control de procesos y análisis de tendencias para determinar en qué momento del futuro las actividades de mantenimiento serán apropiadas y rentables (Gulati, 2009).

Para evaluar el intervalo de la tarea de monitorización de la condición es necesario determinar el período de tiempo existente entre el fallo potencial y el fallo funcional.

**Figura N° 2:** Intervalo fallo potencial a fallo funcional.



Fuente: CEI 60300-3-11.

### 2.1.6 Confiabilidad (R)

Es la probabilidad de que no se produzca ninguna interrupción operacional durante un intervalo de tiempo determinado. Esto no significa que las partes redundantes no puedan fallar, tales piezas pueden fallar y ser reparadas en línea (es decir, sin interrupción operacional) (Birolini, 2017).

Es un recurso estratégico que tiene un único punto de responsabilidad para proporcionar la estrategia que asegura la capacidad, la calidad y el mejor costo (Mobley & Wikoff, 2008).

### 2.1.7 Mantenimiento centrado en la confiabilidad

Llamado también por sus siglas en inglés RCM o Reliability Centred Maintenance, (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad) es una técnica dentro de las posibles para elaborar un plan de mantenimiento y que presenta algunas ventajas importantes sobre otras (Garrido, 2003).

Fundamentalmente, el proceso del RCM busca responder a las siguientes siete preguntas en orden secuencial (Mobley & Wikoff, 2008).

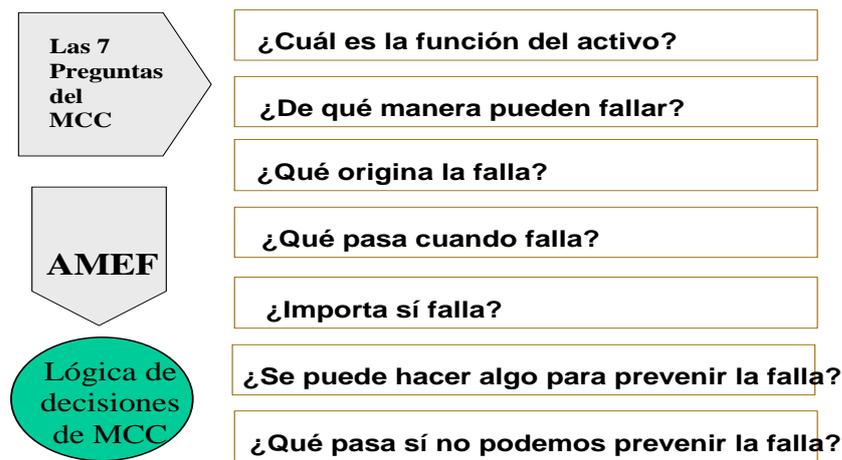


1. ¿Cuáles son las funciones y los niveles de rendimiento deseados asociados al activo en su contexto operativo actual (funciones)?
2. ¿De qué manera puede fallar en el cumplimiento de sus funciones (fallas funcionales)?
3. ¿Qué causa cada fallo funcional (modos de fallo)?
4. ¿Qué sucede cuando se producen fallos (efectos de fallo)?
5. ¿De qué manera importa cada falla (consecuencias de la falla)?
6. ¿Qué debería hacerse para predecir o prevenir cada fallo (tareas proactivas e intervalos de tareas)?
7. ¿Qué se debe hacer si no se puede encontrar una tarea proactiva adecuada (¿acciones predeterminadas?) (Mobley & Wikoff, 2008).

El objetivo principal del análisis RCM es proporcionar una investigación exhaustiva, sistemática y documentada que establezca las condiciones de fallo importantes del sistema o sistemas de la maquinaria (Klasifikasi, 2012).

El proceso define los límites del sistema e identifica las funciones, fallas funcionales, y modos de falla. Desarrolla la identificación lógica de las causas, los efectos y fallas funcionales. Es una estrategia para reducir la probabilidad de fallas (Gulati, 2009).

**Figura N° 3:** Siete preguntas claves del MCC



Fuente: (Moubray, 2004)

### 2.1.8 Análisis de modos y efectos de fallas

Un análisis del modo de fallo y sus efectos (AMEF) es un procedimiento de evaluación del diseño utilizado para identificar los posibles modos de fallo y determinar el efecto de cada uno de ellos en el rendimiento del sistema (Mobley & Wikoff, 2008).

El AMEF es un procedimiento sistemático capaz de analizar un sistema con el objetivo de identificar los posibles modos de fallo, su causa y efecto en el rendimiento, en la seguridad, el medio ambiente, así como sobre el sistema (Lazzaroni et al., 2013).

Por lo tanto, el AMEF es un análisis sistemático de los posibles modos de fallo destinado a prevenir los fallos. Es un proceso de acción preventiva que se lleva a cabo antes de implantar procesos nuevos o modificados (Ben-Daya et al., 2009).

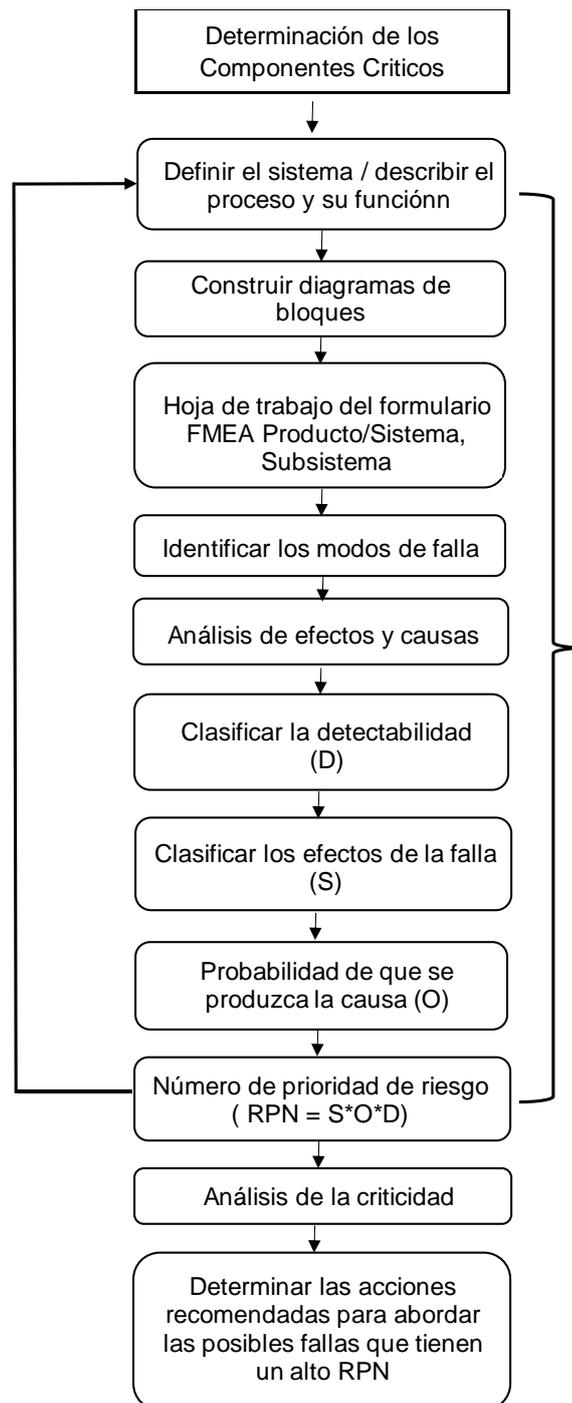
Es una metodología proactiva que sigue los siguientes pasos típicos:

1. Seleccionar un proceso de alto riesgo.
2. Revisar el proceso: El propósito de un equipo de AMEF, es aportar una variedad de perspectivas y experiencias al proyecto.
3. Realice una lluvia de ideas sobre los posibles modos de fallo.



4. Identificar las causas raíz de los modos de fallo.
5. Enumerar los efectos potenciales de cada modo de fallo.
6. Asignar a cada efecto las calificaciones de gravedad, ocurrencia y detección.
7. Calcular el número de prioridad del riesgo (RPN) para cada efecto.
8. Priorizar los modos de fallo para la acción utilizando el RPN.
9. Tomar medidas para eliminar o reducir los modos de fallo de alto riesgo.
10. Calcular el RPN resultante a medida que los modos de fallo se reducen o como medio para supervisar el producto o proceso rediseñado y mejorado (Ben-Daya et al., 2009).

**Figura N° 4:** Secuencia de RCM



Fuente:(Yssaad et al., 2014)

Es una técnica para evaluar un activo, proceso o diseño para determinar las posibles formas en que puede fallar y los posibles efectos; y posteriormente identificar las tareas de reducción apropiadas para los riesgos de mayor prioridad (Gulati, 2009).



La identificación de los modos de fallo potenciales es importante en el AMEF. Utilizando los datos y el conocimiento del equipo cada modo de fallo potencial y sus efectos se clasifican en cada uno de los tres factores: (Ben-Daya et al., 2009)

- Gravedad: la consecuencia del fallo cuando se produce;
- Ocurrencia: la probabilidad o frecuencia de que se produzca el fallo; y
- Detección - la probabilidad de que el fallo se detecte antes de que se produzca el impacto del efecto.

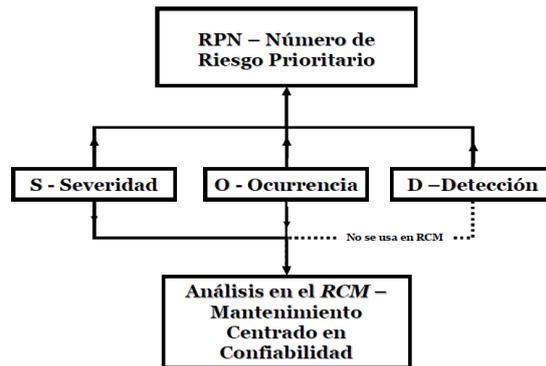
Cuando se amplía el AMEF para categorizar el efecto de cada fallo potencial según su gravedad, el método se denomina análisis de los efectos del modo de fallo y de la criticidad (AMEFC) (Dhillon, 2006).

A cada modo de fallo y al efecto resultante se le asigna un grado de criticidad, la probabilidad de que se produzca, la gravedad y la consecuencia son factores que determinan la criticidad de cada modo de fallo y su efecto (Mobley, 1999).

Siete pasos son necesarios para llevar a cabo AMEF. Estos son los siguientes:

- Definir los límites del sistema y las necesidades asociadas en detalle.
- Enumerar todas las partes y componentes del sistema y los subsistemas.
- Enumerar todos los posibles modos de fallo y describir e identificar el componente o la parte que se está considerando.
- Asigne una tasa o probabilidad de fallo apropiada a cada componente o parte modo de fallo.
- Enumere los efectos de cada modo de falla en los subsistemas y la planta.
- Introduzca las observaciones adecuadas para cada modo de fallo.
- Revise cada modo de fallo crítico y tome las medidas apropiadas (Dhillon, 2006).

**Figura N° 5: Análisis RPN**



Fuente: (Gutiérrez, 2012)

### 2.1.8.1 El fallo y su naturaleza

La comprensión del fallo y de su naturaleza es el núcleo de la comprensión y de la estrategia de gestión de riesgos (Ben-Daya et al., 2009).

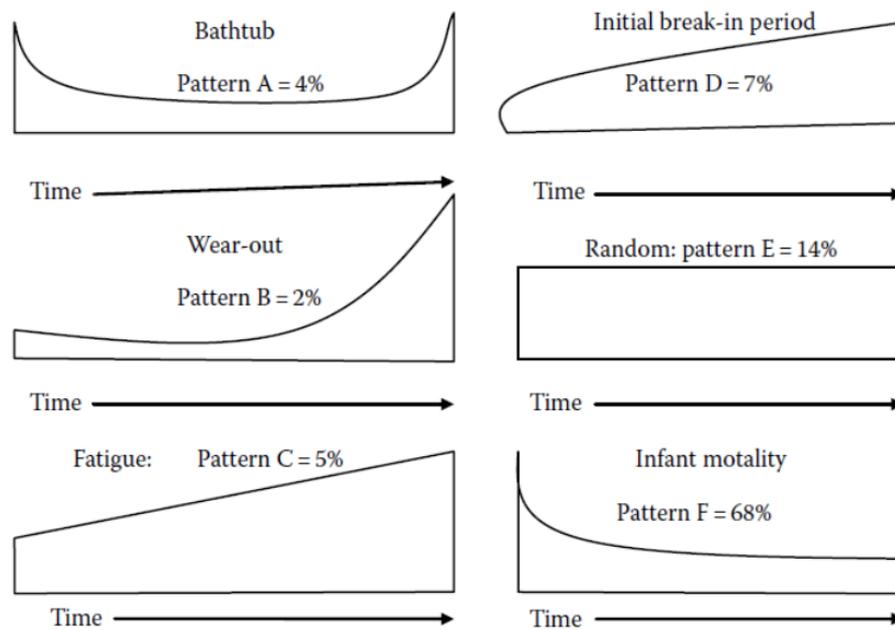
### 2.1.8.2 Fallo

El fallo de un componente se produce cuando hay una desviación significativa de su estado original que lo hace inaceptable para su usuario. Puede clasificarse como fallo completo, parcial, intermitente, en el tiempo o exceso de rendimiento de la función (Ben-Daya et al., 2009).

### 2.1.8.3 Patrones de fallo

Los estudios sobre la edad y la fiabilidad de los componentes de las aeronaves realizados a lo largo de los años revelaron las seis relaciones básicas entre la edad y la fiabilidad que se muestran en la figura 1.1. El eje vertical de estas curvas representa la probabilidad condicional de fallo, y el eje horizontal representa el tiempo en servicio después de la instalación o revisión (Osarenren, 2015).

**Figura N° 6:** Patrones de fallas



Fuente: (Osarenren, 2015)

- El patrón A es la tan conocida “curva de la bañera”. Comienza con una incidencia alta de falla (*conocida como mortalidad infantil*) seguida por una probabilidad de falla condicional en lento o constante crecimiento, luego por la zona de desgaste.
- El patrón B muestra una probabilidad de falla creciente, finalizando en una zona de desgaste similar al gráfico.
- El patrón C muestra una probabilidad de falla creciente pero no hay una edad de desgaste identificable.
- El patrón D muestra una baja probabilidad de falla cuando el equipo es nuevo o recién comprado, y luego una suba rápida a un nivel constante, mientras que el patrón E muestra una permanente probabilidad condicional de fallas a cualquier edad (fallas casuales).
- El patrón F comienza con una mortalidad infantil alta, que disminuye eventualmente a una probabilidad condicional de falla muy lenta (Moubray, 2004).



#### **2.1.8.4 Fallo funcional**

El fallo funcional se define como la incapacidad de un sistema para cumplir su estándar de rendimiento especificado (Ben-Daya et al., 2009).

#### **2.1.8.5 Fallo funcional potencial**

Se trata de una condición física identificable que identifica un fallo funcional inminente (Ben-Daya et al., 2009).

#### **2.1.8.6 Modos de fallo**

Los modos de fallo se definen como la forma en que puede producirse un fallo. Pueden ser física, como las condiciones en que falla una pieza, o conceptual, en el que la ausencia de funciones de trabajo conduce al fallo (Ben-Daya et al., 2009).

#### **2.1.8.7 Fiabilidad**

La fiabilidad puede definirse de varias maneras:

- La idea de que algo es apto con respecto al tiempo.
- La capacidad de un dispositivo o sistema para funcionar como se ha diseñado.
- La resistencia al fallo de un producto o sistema
- La capacidad de un producto o sistema para realizar una función requerida en condiciones establecidas durante un período de tiempo determinado.
- La probabilidad de que una unidad funcional realice su función durante un intervalo de tiempo determinado en las condiciones establecidas (Osarenren, 2015).

La fiabilidad es la capacidad de un sistema o componente para realizar sus funciones requeridas en condiciones establecidas durante un periodo de tiempo



determinado o, en otras palabras, es la capacidad de un dispositivo o sistema para resistir los fallos (Ben-Daya et al., 2009).

Para explicar la ingeniería de la fiabilidad se utilizan muchas técnicas de ingeniería, como la predicción de la fiabilidad, el análisis de Weibull, la gestión térmica, las pruebas de vida útil acelerada y la técnica de la herencia tecnológica (Osarenren, 2015).

#### **2.1.8.8 Función requerida**

La función requerida especifica la tarea del elemento (del sistema). Su definición es el punto de partida de cualquier análisis, ya que define los fallos. A efectos prácticos los parámetros deben definirse con tolerancias y no simplemente como valores fijos (Birolini, 2017).

#### **2.1.9 Modo de falla**

Un modo de falla es la manera en que se observa una falla. Generalmente describe la forma y su impacto en el equipo o sistema. Se deben identificar las causas de los modos de fallo (Klasfikasi, 2012).

#### **2.1.10 Análisis de los modos de fallo**

Para comprender el mecanismo de los fallos del sistema, es necesario realizar un análisis de los modos y efectos de los fallos. Consiste en el análisis sistemático de los modos de fallo (avería), sus causas, efectos (consecuencias) y criticidad (Birolini, 2017).



### 2.1.11 Efectos de la falla

Los efectos de la falla para cada modo de falla deben ser listados como sigue:

- El efecto local es describir el cambio inicial en el elemento o componente del equipo en funcionamiento cuando se produce el modo de fallo; se deben identificar los métodos de detección de fallos, si los hay, y la disponibilidad de un sistema/equipo de reserva para realizar la misma función.
- El Fallo Funcional es para describir el efecto del modo de fallo en el sistema o grupo funcional; como un posible daño físico al elemento del sistema/equipo; o un posible daño secundario a otros elementos de equipo en el sistema o a elementos de equipo no relacionados en los alrededores.
- El efecto final es describir el efecto general en la nave en cuanto a la propulsión, el control direccional, el medio ambiente, el fuego y/o la explosión. Un modo de fallo puede dar lugar a múltiples efectos finales (Klasfikasi, 2012).

### 2.1.12 Criticidad

La criticidad es una medida de riesgo asociada al modo de fallo y sus efectos. El riesgo puede medirse cualitativamente (por ejemplo, alto, medio, bajo) o cuantitativamente (por ejemplo, 15 000 dólares al año) (Klasfikasi, 2012).

Como los recursos de una empresa para mantener una planta son limitados, debemos destinar la mayor parte de los recursos a los equipos más importantes. Al hacer esta diferenciación, estamos realizando el Análisis de Criticidad (Garrido, 2003).

El análisis de la criticidad se utiliza para clasificar el riesgo asociado a cada modo de fallo identificado, evaluando la severidad del efecto y la probabilidad de fallo. Esto permite la comparación de cada modo de fallo con respecto a riesgo (Klasfikasi, 2012).

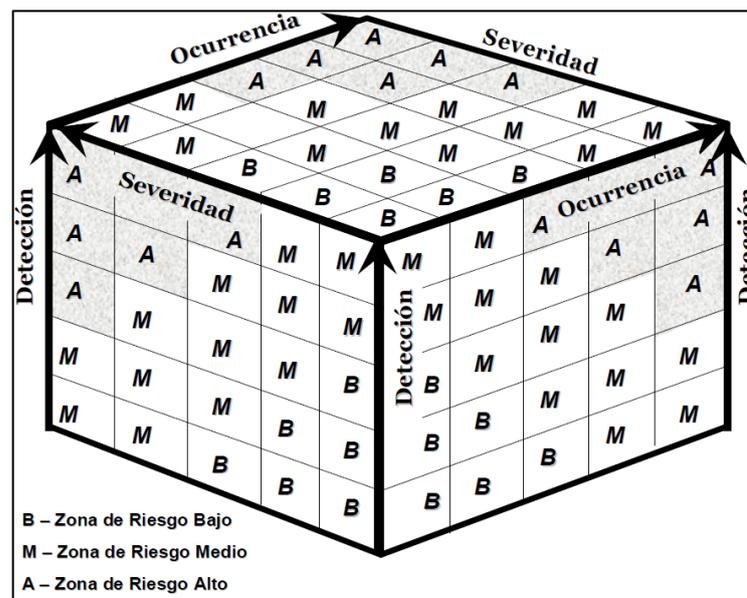
Comencemos distinguiendo una serie de niveles de importancia o criticidad:

- a. Equipos críticos. Son aquellos cuya parada o mal funcionamiento afecta significativamente a los resultados de la empresa.
- b. Equipos importantes. Son aquellos equipos cuya parada, avería o mal funcionamiento afecta a la empresa, pero las consecuencias son asumibles.
- c. Equipos prescindibles. Son aquellos con una incidencia escasa en los resultados (Garrido, 2003).

La probabilidad de fracaso puede determinarse utilizando cualquiera de estos dos enfoques:

- Cuantitativo. Este enfoque se utilizará si se dispone de datos de fiabilidad. Cuando se utiliza, la fuente de los datos y el contexto operativo.
- Cualitativo. Cuando no se disponga de datos cuantitativos para determinar la probabilidad de fallo, El juicio de ingeniería puede ser aplicado en base a la experiencia previa (Klasfikasi, 2012).

**Figura N° 7: Volumen de riesgo**



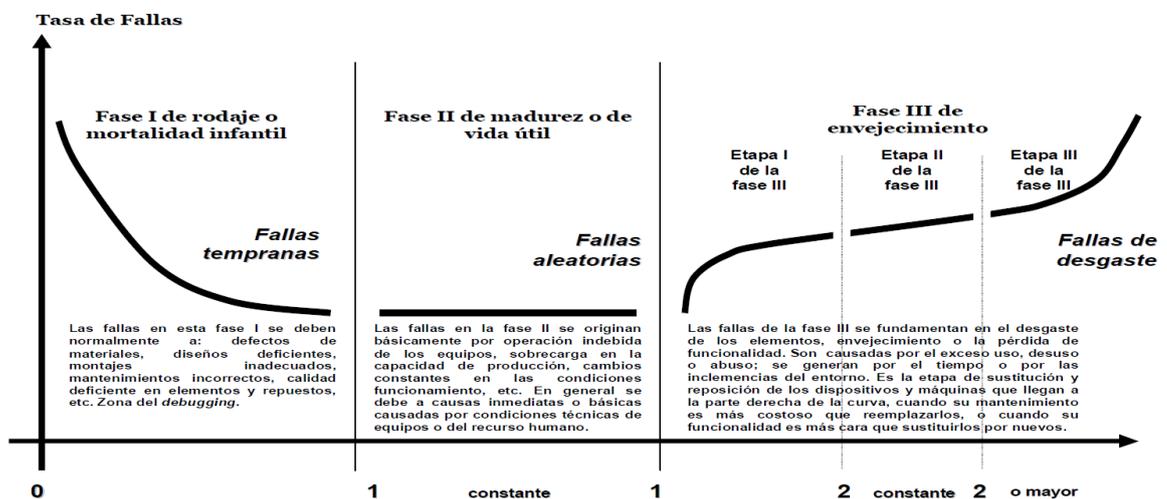
Fuente: (Gutiérrez, 2012)

### 2.1.13 La distribución Weibull

La distribución de Weibull es una de las distribuciones de vida útil más utilizadas en ingeniería de fiabilidad y mantenimiento. Es una distribución versátil que puede adoptar diferentes formas (Ben-Daya et al., 2009).

Una de las ventajas significativas que posee la distribución Weibull es que es muy manejable y se acomoda a las tres zonas (infancia, madurez o vida útil y envejecimiento) de la curva de la bañera o de Davies (Lazzaroni et al., 2013).

**Figura N° 8:** Curva de la bañera o de Davies.



Fuente: (Gutiérrez, 2012)

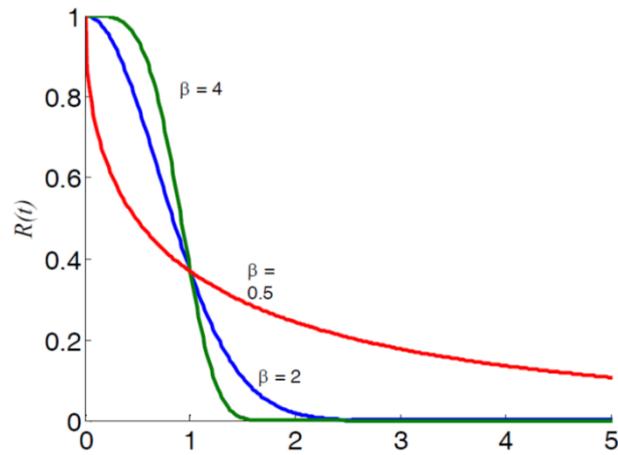
Dependiendo del valor del parámetro de forma,  $\beta$ , su función de tasa de fallos puede ser decreciente, constante o creciente, por lo que puede utilizarse para modelar el comportamiento de los fallos de varios sistemas de la vida real (Ben-Daya et al., 2009).

Su función de fiabilidad viene dada por:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \quad (1)$$

El gráfico de la función de fiabilidad de Weibull se muestra en la figura 9.

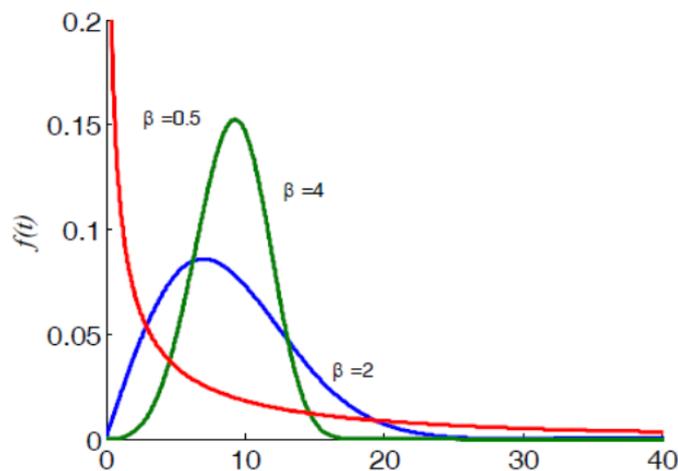
**Figura N° 9:** Gráfico de la función de fiabilidad de Weibull



Fuente: (Ben-Daya et al., 2009)

El gráfico de la función de densidad de probabilidad de la distribución biparamétrica de Weibull se muestra en la Figura 10, para varios valores del parámetro de forma (Ben-Daya et al., 2009).

**Figura N° 10:** Gráfico la distribución biparametrica de Weibull



Fuente: (Ben-Daya et al., 2009)

Su función de distribución acumulativa viene dada por:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \quad (2)$$

La función de densidad de probabilidad de la distribución de Weibull de dos parámetros es dada por:

$$f(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \quad (3)$$

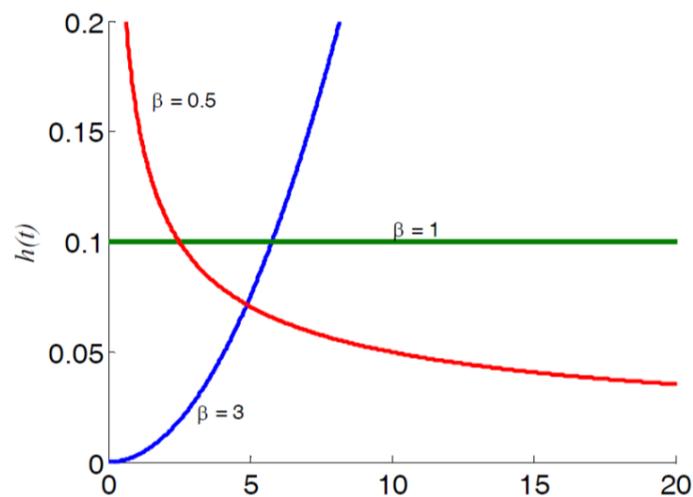
La función de densidad de probabilidad de la distribución de Weibull de tres parámetros es dada por:

$$f(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\delta}{\theta}\right)^\beta} \quad (4)$$

La función de tasa de fallos correspondiente viene dada por:

$$h(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \quad (5)$$

**Figura N° 11:** Gráfico de la función de riesgo de Weibull



Fuente: (Ben-Daya et al., 2009)

Donde:

$\theta$  : es el parámetro de escala.

$\beta$  : es el parámetro de forma.

$\delta$  : es el parámetro de localización.

La distribución de Weibull posee en su forma general tres parámetros, lo que le da una gran flexibilidad y cuya selección permite obtener mejores ajustes, que con otras distribuciones; estos parámetros son: (Gutiérrez, 2005)

- Parámetro de escala o característica de vida útil: su valor es determinante para fijar la vida útil del producto o del sistema.
- Parámetro de forma: refleja la dispersión de los datos y determina la forma que toma la distribución.
- Parámetro de localización: el más difícil de estimar y por este motivo se asume con demasiada frecuencia que vale cero. Indica el lapso en el cual la probabilidad de falla es nula (Gutiérrez, 2005).

**Figura N° 12:** Parámetro de forma beta de Weibull

<b>Valor <math>\beta</math></b>	<b>Característica</b>
$0 < \beta < 1$	Tasa de fallas decreciente
$\beta = 1$	Distribución exponencial
$1 < \beta < 2$	Tasa de falla creciente

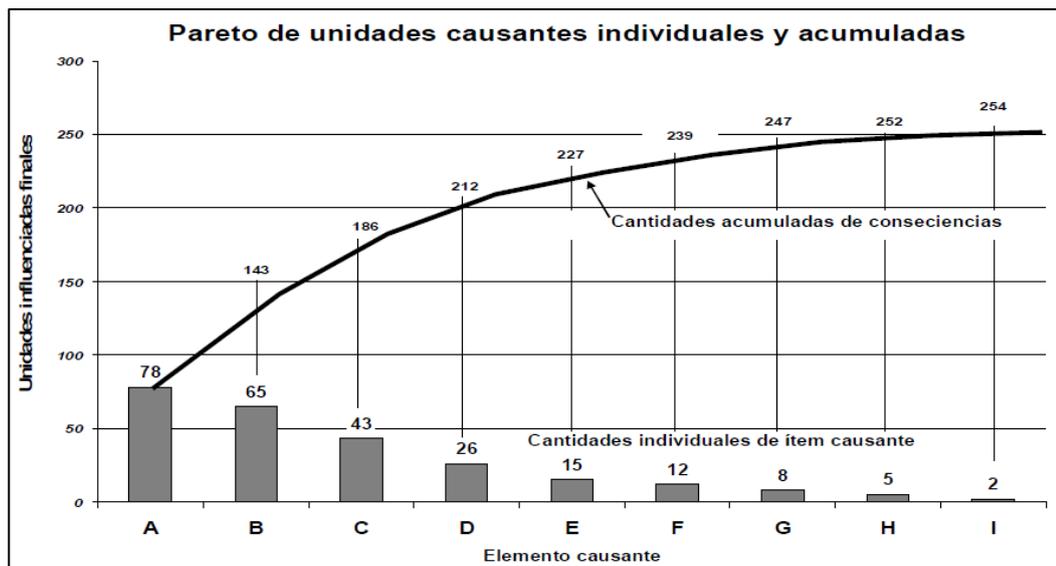
Fuente: (Gutiérrez, 2005).

A través de la distribución de Weibull se puede representar los intervalos de mantenimiento preventivo. Su densidad de probabilidad funciona con respecto a los tiempos de mantenimiento preventivo (Dhillon, 2006).

#### **2.1.14 Diagrama de Pareto**

Es una de las siete herramientas básicas del control de calidad, que incluyen el histograma, el diagrama de Pareto, la hoja de comprobación, el gráfico de control, el diagrama de causa y efecto diagrama de flujo y diagrama de dispersión (Ben-Daya et al., 2009).

Figura N° 13: Diagrama de Pareto



Fuente: (Gutiérrez, 2012)

El principio de Pareto ilustra el hecho de que el 80 % de los problemas provienen del 20% de las causas. Un diagrama de Pareto es un gráfico de barras formado por una serie de barras cuyas alturas reflejan la frecuencia de los problemas o las causas (Ben-Daya et al., 2009).

## 2.2 PLANTA DEPÓSITOS LIXIVIABLES

La planta de depósitos lixiviables este compuesto principalmente para su funcionamiento, por los siguientes elementos constitutivos:

- Sistema de Chancado (Trituración).
- Sistema de Transporte de Mineral.
- Formación de Depósitos Lixiviables.
- Sistemas Auxiliares.
- Sistema Eléctrico y de Control.



## **2.2.1 Sistema de chancado (trituration).**

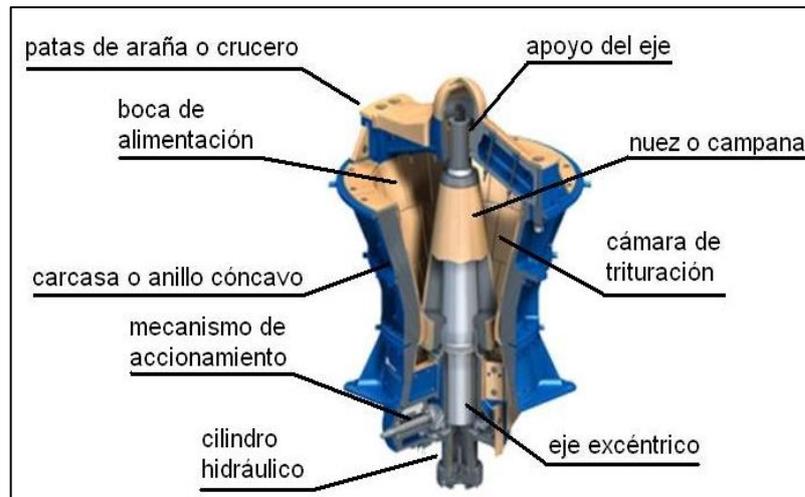
Está compuesto principalmente por un triturador giratorio, el cual es alimentado permanentemente por volquetes. El material triturado es descargado en una tolva de compensación que permite reducir las variaciones en la alimentación al sistema (FLSmidth, 2009).

### **2.2.1.1 Chancador giratorio**

Está compuesto por los siguientes elementos:

- Araña
- Cuerpo
- Poste
- Conjunto Eje Piñón y Eje de Extensión
- Conjunto Cilindro Hidráulico para Posicionamiento del Poste
- Revestimientos
- Sistemas de Lubricación de Chancador
- Unidad Hidráulica para el posicionamiento del poste
- Sistema Sellado de Polvo
- Sistema Eléctrico
- Instrumentación y Control
- Carro Extracción de la Excéntrica (FLSmidth, 2009).

**Figura N° 14 : Triturador giratorio**



Fuente: (CIMAC, 2006)

### 2.2.1.2 Araña

En la parte superior del chancador hay un sistema de soporte para el eje principal llamado **la araña**. El conjunto de la araña incorpora un muñón maquinado que coloca (restringe lateralmente) el extremo superior del eje principal (FLSmith, 2009).

Su función básica es guiar al extremo superior del eje principal para que este pueda efectuar el movimiento pendular necesario para el chancado (Zabala, 2018).

**Figura N° 15 : Araña**



Fuente: (CIMAC, 2006).

### 2.2.1.3 Cuerpo

El cuerpo del chancador consiste de una estructura de acero fundido que incluye, en su parte más baja, el mecanismo de accionamiento (FLSmith, 2009).

Es la estructura principal del equipo sobre el cual se fijan todos los componentes del chancador y se apoya sobre la fundación (Zabala, 2018).

**Figura N° 16** : Estructura Principal



Fuente: (CIMAC, 2006).

### 2.2.1.4 Conjunto eje piñón y eje de extensión

El conjunto del eje principal, con su manto, es la parte móvil fundamental del chancador. En la parte superior del chancador hay un sistema de soporte para el eje principal llamado *la araña* (FLSmith, 2009).

El eje lleva en un extremo el piñón cónico y en el otro extremo un acoplamiento flexible que lo une, por medio de un eje de extensión y otro acoplamiento similar, con el motor eléctrico (Zabala, 2018).

**Figura N° 17 : Eje Principal**



Fuente: (CIMAC, 2006).

#### **2.2.1.5 Conjunto de la excéntrica**

La excéntrica produce el movimiento giratorio del eje principal y el manto. Consta de cuatro piezas principales: El buje del eje principal, la corona dentada y el conjunto placa inferior y los elementos de fijación (FLSmith, 2009).

**Figura N° 18 : Conjunto de la excéntrica**

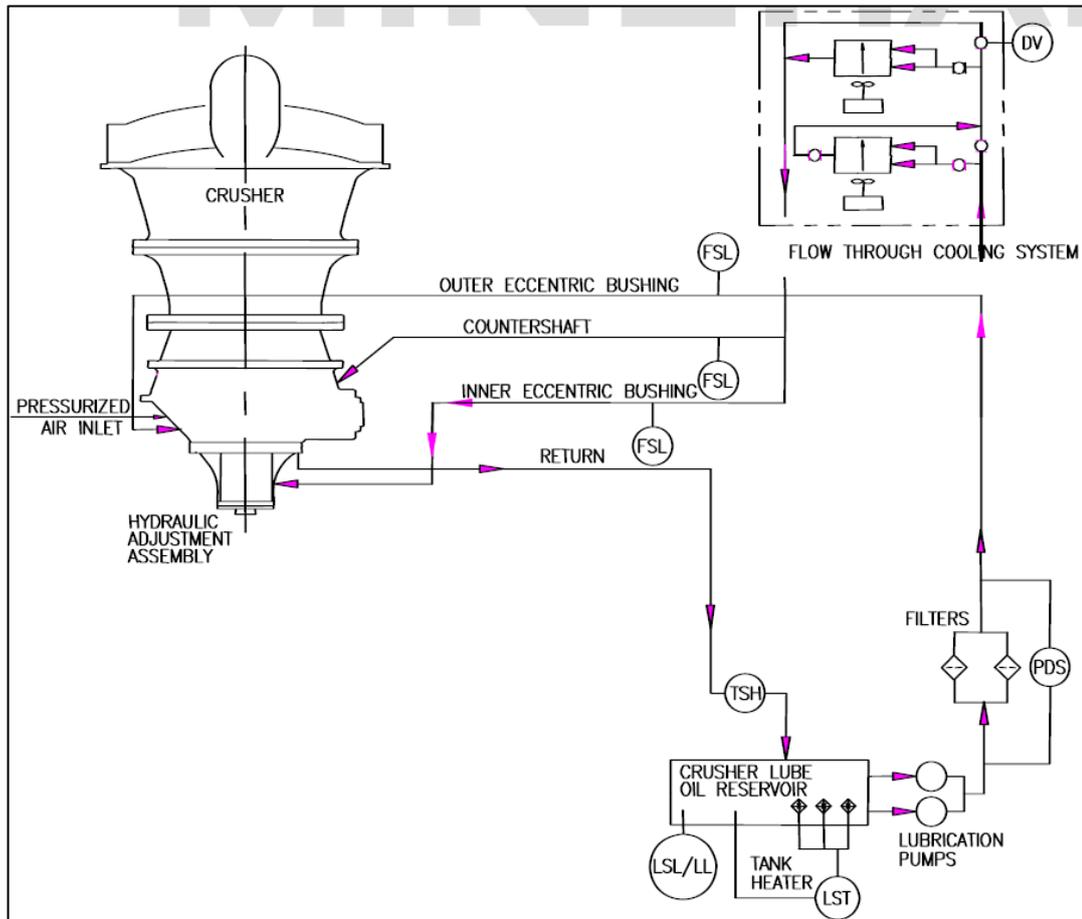


Fuente: (CIMAC, 2006).

### 2.2.1.6 Sistema de lubricación/enfriamiento

El chancador primario está equipado con un sistema de lubricación circulante que incluye un sistema de enfriamiento.

**Figura N° 19 : Lubricación enfriamiento**

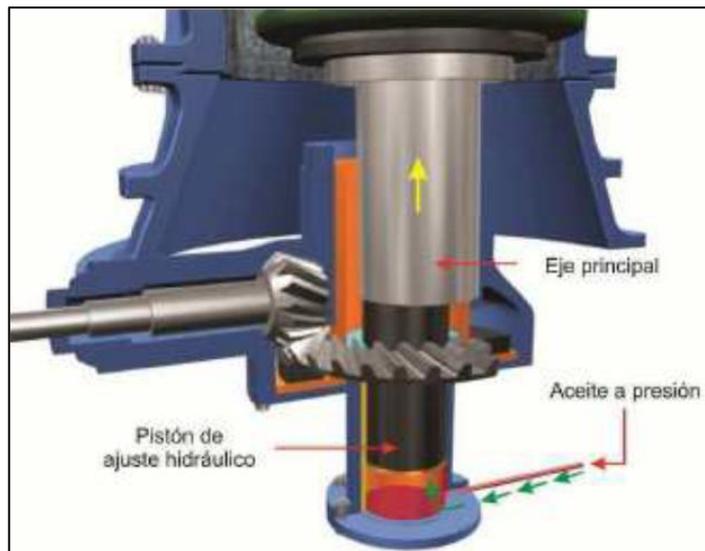


Fuente: (FLSmith, 2009)

### 2.2.1.7 Conjunto cilindro hidráulico para posicionamiento del poste.

Su función es la de soportar al poste, a través del asiento esférico y regular su posición, dependiendo de las condiciones de operación requeridas. En su parte inferior se encuentra el indicador de posición del eje (Zabala, 2018).

**Figura N° 20 :** Conjunto cilindro hidráulico



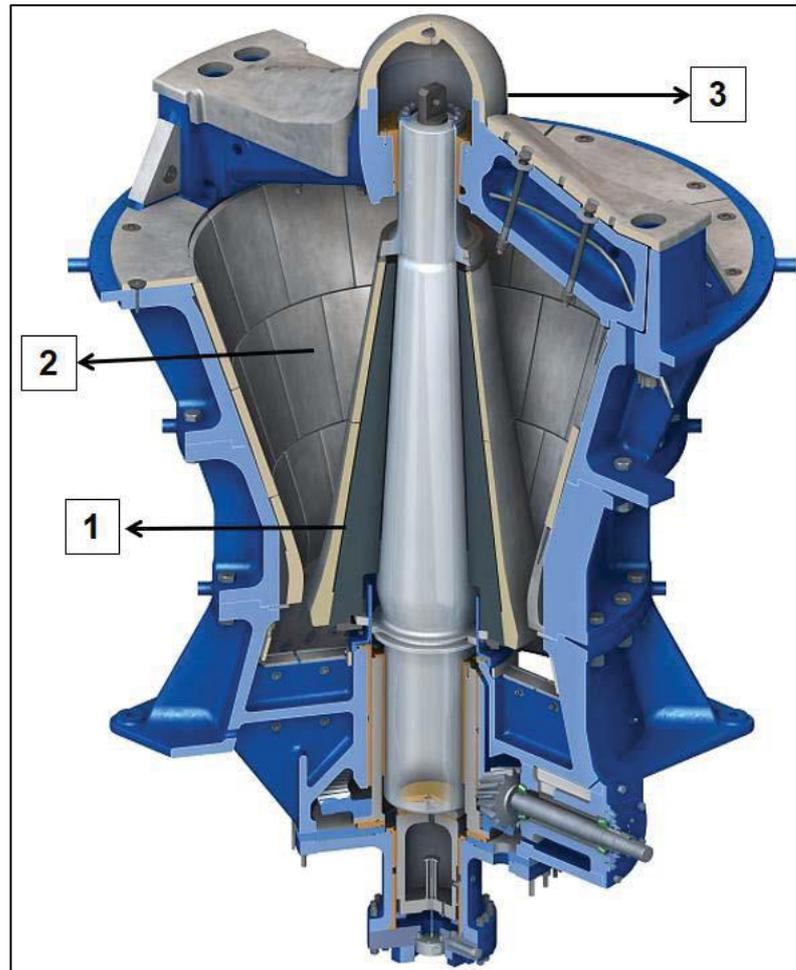
Fuente: (CIMAC, 2006).

### 2.2.1.8 Revestimientos

Los revestimientos son piezas de recambio, en su mayoría fijas al equipo por medio de pernos, cuya función principal es proteger las partes del chancador expuestas a desgaste debido al impacto y roce del mineral (Villaroel, 2016).

1. Manto, revestimiento del eje principal.
2. Cóncavas, revestimiento del cuerpo o carcasa del Chancador.
3. Revestimiento de la araña, revestimiento del conjunto de la araña.

**Figura N° 21 : Revestimientos**



Fuente: (Villaroel, 2016)

### **2.2.1.9 Sistema sellado de polvo.**

Este encargado de formar un sello de polvo para proteger al sistema de lubricación y a la excéntrica, de partículas que pudieran dañarla.

Están instalados en el fondo del cuerpo cónico del poste, los cuales sellan la entrada de polvo al interior del equipo a través de un buje especial montado sobre la excéntrica (Zabala, 2018).

**Figura N° 22 : Sello de polvo**

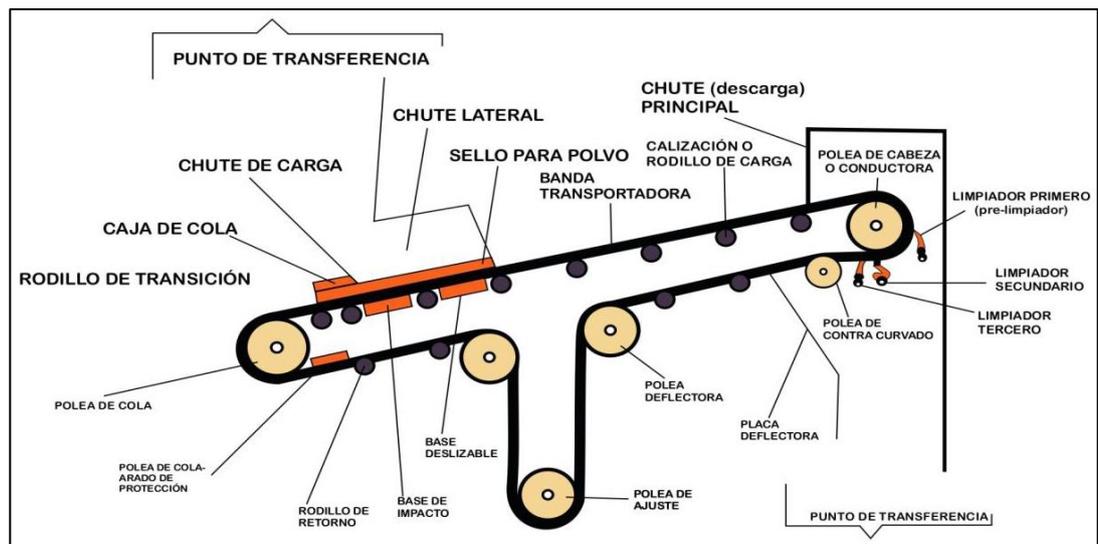


Fuente: (Zabala, 2018).

### **2.2.2 Sistema de transporte de mineral**

El sistema de transporte de mineral está conformado por fajas de velocidad fija y una faja de gran extensión. La primera faja, 1100-CV-001, tiene 42 metros de largo y posee una báscula para la medición del flujo de mineral. Esta faja recibe el mineral desde el alimentador de placas para luego descargarlo mediante una torre de transferencia a la faja 1200-CV-002. Esta segunda faja, de 346 metros de largo, transporta el mineral descargándolo sobre la faja, 1200-CV-003, de unos 2866 metros de longitud, la cual posee un declive y es operada por dos motores de 850kW en carga repartida mediante variadores de velocidad.

**Figura N° 23 : Componentes de la faja**



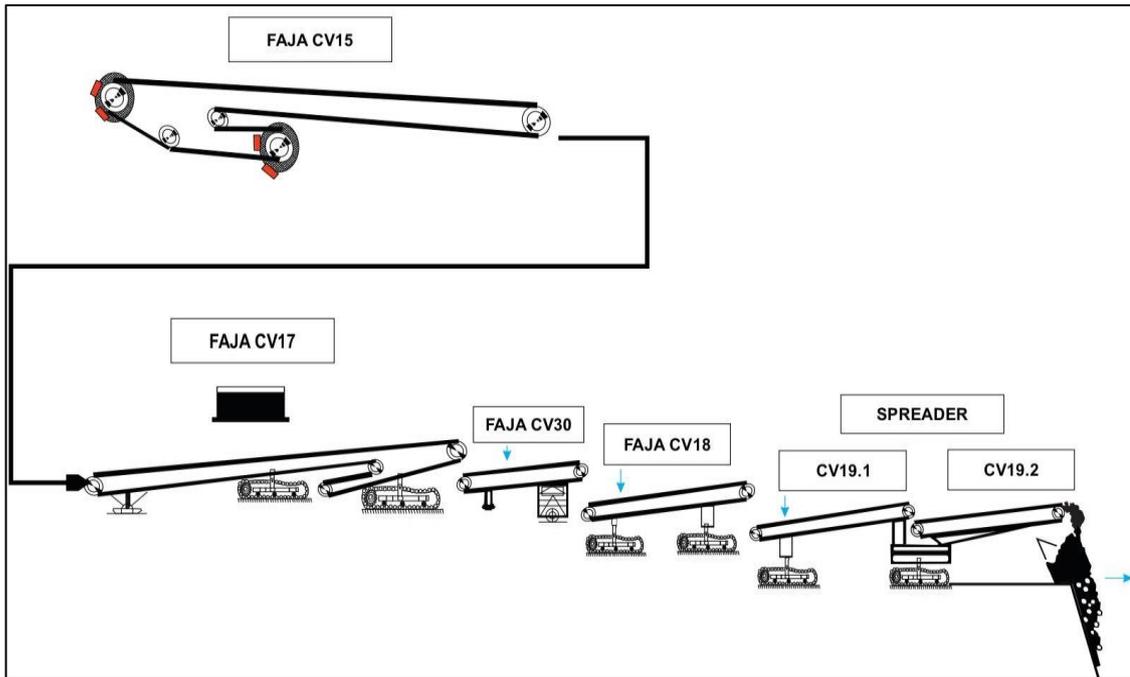
Fuente: Southern Perú

### 2.2.3 Formación de depósitos lixiviables

Está formado por los siguientes equipos principales indicados en el orden de operación:

- Una faja fija extensible en declive, operada por motores en carga repartida mediante variadores de velocidad. Estas fajas pueden ser acortadas en su largo dependiendo de la disposición que se requiera en campo.
- Una faja de transporte de mineral de emergencia.
- Una faja puente desplazable, velocidad fija y extendida horizontalmente que lleva el material hasta el apilador.
- Un apilador móvil: desplazable mediante orugas, compuesto por dos fajas, para la descarga del mineral.
- El mineral es así descargado por el apilador siguiendo una secuencia de formación de pilas de extensión y altura crecientes.

Figura N° 24 : Diagrama de flujo



Fuente: Southern Perú



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 MATERIALES DE LA INVESTIGACIÓN

Como material para la presente investigación tenemos al sistema, sub sistemas y componentes de la Concentradora Depósitos Lixiviables, conformado por lo siguiente.

- Sistema de Chancado (Trituración)
- Sistema de Transporte de Mineral
- Formación de Depósitos Lixiviables
- Sistemas Auxiliares
- Sistema Eléctrico y de Control.

Para la aplicación de la metodología de análisis de modos y efectos de fallas y la determinación de la criticidad, se analizan los subsistemas que conforma Concentradora Depósitos Lixiviables del Asiento Minero Toquepala - Ilabaya - Tacna.

##### 3.1.1 Tipo de investigación

###### **Diseño de investigación:**

El presente trabajo de investigación será de tipo no experimental, en su variante descriptivo correlacional.

El método de investigación en cada objetivo específico es del tipo no experimental, transversal, descriptivo. La toma de datos es del tipo longitudinal, Correlacional, causal, propuesto por Hernández Sampieri en Metodología de la Investigación (Sampieri et al., 2010).

Las modalidades de esta investigación que se ajustan al presente proyecto serán los siguientes:



### **Investigación de campo**

Se utiliza este tipo de investigación debido a la naturaleza del proyecto, en el cual es necesario estar en el lugar mismo y a través de ello se verificará e indagará las posibles causas que se está tratando solucionar, sin manipulación de las variables, permitiendo generalizar los resultados obtenidos a situaciones afines.

### **Investigación bibliográfica-documental**

En esta investigación se tiene como finalidad ampliar y profundizar las teorías y enfoques acerca del tema del proyecto mediante la utilización de libros, catálogos, textos, páginas electrónicas, entre otros, y que darán una correcta orientación a la investigación, constituyendo un respaldo para los procedimientos a llevar a cabo, con lo cual las teorías investigativas se comprobarán y justificarán.

### **Investigación no experimental**

Esta investigación será de tipo No experimental, ya que no se manipularán variables, y se observará el fenómeno en su contexto natural (Sampieri et al., 2010).

En cuanto al método que se empleará en el proyecto de tesis será teórico – práctico. Para ello se recurrirá a bibliografías establecidas, catálogos, tablas, diagramas, herramientas computacionales, datos históricos y otros con la finalidad de realizar el diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad, para la Concentradora Depósitos Lixiviables del Asiento Minero Toquepala - Ilabaya - Tacna.

### **Variables**

- Independiente: Plan de mantenimiento preventivo
- Dependiente: Confiabilidad

## 3.2 MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

### 3.2.1 Diagnóstico de los sistemas, sub sistemas y componentes de la Concentradora Depósitos Lixiviables.

Mediante el análisis de campo se realizará el diagnóstico de la situación actual de los sistemas, sub sistemas y componentes de la Concentradora Depósitos Lixiviables que está operando actualmente en la operación minera de Toquepala - Ilabaya - Tacna. Los resultados del diagnóstico se registrarán en la siguiente tabla.

**Tabla 1 :** Condición de operación

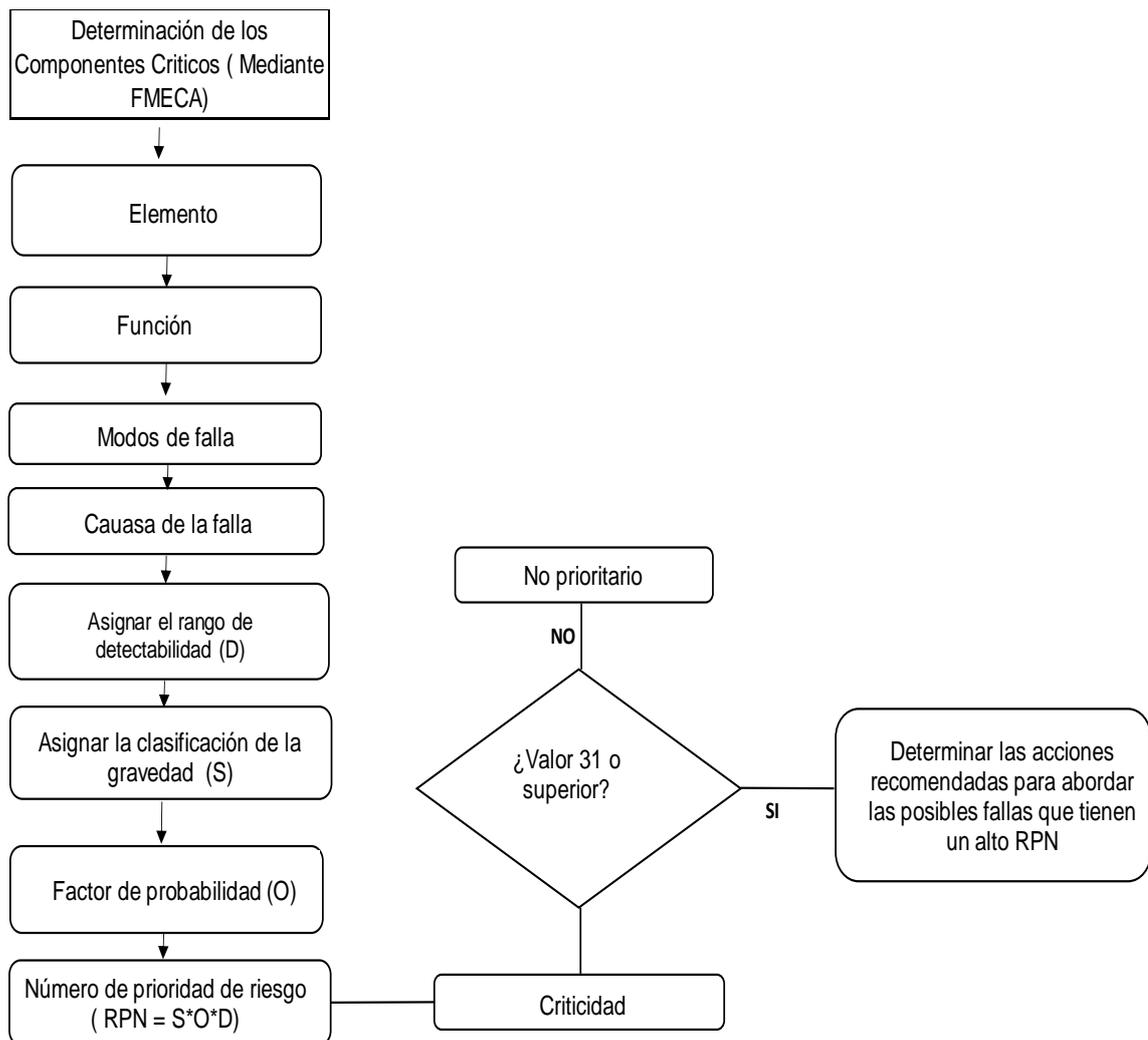
Sistema	Sub Sistema	Equipo	Condicion de Operación
Sistema	Sub Sistema 1		
	Sub Sistema 2		
	Sub Sistema 3		
	Sub Sistema 4		
	Sub Sistema 5		
	....		
	Sub Sistema n		

Elaborado por el equipo de trabajo

### 3.2.2 Análisis de modos y efectos de falla

El proceso seguirá la secuencia del diagrama, considera las implicaciones de seguridad de cada modo de fallo, evalúa las consecuencias de seguridad y las consecuencias ambientales (Scheu et al., 2019).

**Figura N° 25 : Proceso del AMEF y criticidad**



Fuente:(Scheu et al., 2019)

Para realizar el análisis de los modos y efectos de fallo utilizaremos la hoja de trabajo que se muestra en la Tabla 2. En la tabla se registrará las funciones, fallas funcionales y modos de fallas de cada sub sistema de la Concentradora de Depósitos Lixiviables del Asiento Minero Toquepala - Ilabaya - Tacna.

**Tabla 2:** Hoja de trabajo de AMEF

SISTEMA : Concentradora Depósitos Lixiviables del Asiento Minero Toquepala - Ilabaya - Tacna		AMEF			
SUB SISTEMA :					
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL (pérdida de la función)	MODO DE FALLA		EFECTO DE FALLA (Qué sucede cuando se produce una falla)	
1	A	1			
	B	1			

Fuente:(Moubray, 2004).

### 3.2.3 Determinación de la criticidad de los sub sistemas de la Concentradora Depósitos Lixiviables.

Para el presente objetivo se utilizará la metodología del análisis de modos y efectos de fallos y su criticidad AMEFC, cuya secuencia se describe a continuación:

- Definir el sistema a analizar.
- Construir un diagrama de bloques del sistema.
- Identificar los posibles modos de fallo de los elementos y definir sus efectos sobre la función o el elemento inmediato, sobre el sistema y sobre la misión a realizar.
- Evaluar cada modo de fallo en función de la posible consecuencia, que puede resultar y asignar una categoría de clasificación de gravedad.
- Identificar los métodos de detección de fallos y la previsión de medidas de prevención para cada modo de fallo.
- Identificar el diseño correctivo u otras acciones necesarias para eliminar el fallo o controlar el riesgo.
- Documentar el análisis e identificar los problemas, que no pudieron ser corregidos por diseño.

- El objetivo del método propuesto es identificar los componentes más críticos de un sistema para priorizar acciones de mantenimiento (Melani et al., 2018).

### 3.2.3.1. Análisis de criticidad

Se realizará de acuerdo al procedimiento recomendado por la norma IEC 60812, que utiliza el Número de Prioridad de Riesgo (RPN). La criticidad usando el análisis de modos y efectos de falla definida por el RPN se calculará mediante: (Lazzaroni et al., 2013).

$$RPN = S * O * D \quad (6)$$

Donde:

- S (Gravedad): Es la gravedad del fallo y se expresa generalmente en niveles de criticidad.

**Tabla 3 : Clasificación Gravedad (S)**

Gravedad (S)		
Duración del servicio interrupción	Criterio de severidad	Valor
> 8h	muy catastrófica	8
7h	Catastrófico	7
6h	Muy serio	6
5h	Grave	5
4h	Medio	4
3h	Significativo	3
2h	Menor	2
1h	muy menor	1
30 minutos	Pequeña	0.6
<30 min	Muy pequeña	0.2

Fuente: (Yssaad et al., 2014)

- O (Ocurrencia) es la probabilidad de que un modo de fallo se manifieste en un tiempo establecido que suele coincidir con la vida útil del componente examinado.

**Tabla 4 : Clasificación Ocurrencia (O)**

Ocurrencia (O)		
Posible tasa de ocurrencia	Criterio de Ocurrencia	Valor
Una vez cada 12 años	Falla cerca de cero o nulo	1
Una vez cada 10 años	Muy bajo, aislamiento de la falla, raramente	2
Una vez cada 8 años	Bajo, a menudo falla	3
Una vez cada 6 años		4
Una vez cada 4 años	Promedio, fallas ocasionales	5
Una vez cada 2 años		6
Una vez al año		7
Una vez cada 6 meses	Alta, falla frecuente	8
Una vez al mes		9
Una vez cada semana	Muy alto	10

Fuente: (Yssaad et al., 2014)

- D (Detección) es la estimación de la posibilidad de identificar/diagnosticar y eliminar/prevenir el inicio de una avería antes de que sus efectos se manifiesten en el sistema o el personal (Lazzaroni et al., 2013).

**Tabla 5 : Clasificación Detección (D)**

Detección (D)		
Nivel de detección	Criterio de detección	Valor
No detectable	Imposible	10
Difíciles de detectar	Muy difícil	9
	Muy tarde	8
detectar al azar (Improbable)	No es seguro	7
	Ocasional	6
Posible detección	Bajo	5
	tarde	4
Detección confiable	Fácil	3
	inmediato	2
Detección permanente	Acción correctiva inmediata	1

Fuente: (Yssaad et al., 2014)

Para la clasificación de los subsistemas críticos se utilizará la siguiente tabla de clasificación de criticidad de acuerdo al RPN.

**Tabla 6 : Clasificación Criticidad**

CRITICIDAD ( C )		RIESGO O PELIGRO
NIVEL DE CRITICIDAD	VALOR	
MENOR	0-30	ACEPTABLE
MEDIO	31-60	TOLERABLE
ALTO	61-180	
MUY ALTO	181-252	INACEPTABLE
CRITICO	253-324	
MUY CRITICO	>324	

Fuente: (Yssaad et al., 2012).

Para la propuesta del plan de mantenimiento se seguirá el método propuesto en base a la criticidad y de acuerdo al valor del RPN los valores se tomarán de la siguiente tabla.

**Tabla 7 : Acción de mantenimiento**

Plan de Mantenimiento		
Elemento	Criticidad ( C ) RPN	Acción de mantenimiento
	0-30	Acción correctiva
	31-60	Mantenimiento preventivo sistemático
	61-180	
	181-252	Revisión del diseño completo (Rediseño)
	253-324	
	>324	

Fuente: (Yssaad et al., 2012).

### 3.2.4 Determinación de la confiabilidad mediante los parámetros de Weibull

La distribución de Weibull es una de las distribuciones de vida útil más utilizadas en ingeniería de fiabilidad y mantenimiento. Dependiendo del valor del parámetro de forma,  $\beta$ , su función de tasa de fallos puede ser decreciente, constante o creciente (Ben-Daya et al., 2009).

La función de densidad de probabilidad de la distribución de Weibull de tres parámetros es dada por:

$$f(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\delta}{\theta}\right)^\beta} \quad (7)$$

Donde:

$\theta$  : es el parámetro de escala.

$\beta$  : es el parámetro de forma.

$\delta$  : es el parámetro de localización.

La función de densidad de probabilidad de la distribución de Weibull de dos parámetros es dada por:

$$f(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \quad (8)$$

Donde:

$\theta$  : es el parámetro de escala.

$\beta$  : es el parámetro de forma.

Su función de distribución acumulativa viene dada por (Ben-Daya et al., 2009)

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \quad (9)$$

Donde:

$\theta$  : es el parámetro de escala.

$\beta$  : es el parámetro de forma.

Su función de fiabilidad viene dada por:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \quad (10)$$

Donde:

$\theta$  : es el parámetro de escala.

$\beta$  : es el parámetro de forma.

La función de tasa de fallos correspondiente viene dada por:

$$h(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \quad (11)$$

$\theta$  : es el parámetro de escala.

$\beta$  : es el parámetro de forma.

El parámetro de forma caracteriza la dispersión de los fallos.

- $\beta < 1$ : El riesgo de fallo de los componentes disminuye a medida que aumenta el valor del parámetro de envejecimiento.
- $\beta = 1$ : El riesgo de fallo de los componentes es constante.
- $\beta > 1$ : El riesgo de fallo de los componentes aumenta a medida que aumenta el valor del parámetro de envejecimiento (Kundu et al., 2019).

#### 3.2.4.1. Trazado de probabilidades

El método de trazado de probabilidades toma la función de distribución acumulativa (CDF) y trata de linealizarla empleando un papel especialmente construido (Ben-Daya et al., 2009).

La distribución de Weibull de dos parámetros viene dada por:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \quad (12)$$

Esta función se puede poner en la forma lineal común de  $y = a + bx$  como:

$$1 - F(t) = \exp\left(-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right) \quad (13)$$

Tomando el logaritmo de ambos lados obtenemos:

$$\ln(1 - F(t)) = -\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta \quad (14)$$

Tomando el logaritmo una vez más, tenemos:

$$\ln(-\ln(1 - F(t))) = \beta \ln\left(\frac{t}{\theta}\right) \quad (15)$$

O

$$\ln\left(\frac{1}{\ln(1 - F(t))}\right) = \beta \ln t - \beta \ln \theta \quad (16)$$

Podemos tener lo siguiente:

$$y = \ln\left(\frac{1}{\ln(1 - F(t))}\right) \quad (17)$$

Y

$$x = \ln t \quad (18)$$

Entonces la ecuación puede reescribirse como:

$$y = \beta x - \beta \ln \theta \quad (19)$$

Que ahora es una ecuación lineal con pendiente  $\beta$  e intercepción  $-\beta \ln \theta$ .

Los valores de  $x$  pueden calcularse fácilmente a partir de los datos. Sin embargo, el cálculo de  $y$  requiere la estimación de  $F(t)$  a partir de los datos, que corresponden a la fracción de la población que falla antes de cada valor de la muestra valor de la muestra (Ben-Daya et al., 2009).

Se calcula el rango de la mediana, conocida como aproximación de *Benard's* que viene dada por:

$$\text{Rango de la mediana} = \frac{i - 0.3}{n + 0.4} \quad (20)$$

Donde  $i$  es el índice del orden ascendente y  $n$  es el tamaño de la muestra.

El parámetro  $\beta$  de la distribución de Weibull se obtiene a partir de la pendiente de la recta ajustada a los puntos trazados. En cuanto a la estimación del parámetro de escala  $\theta$ , se puede obtener de la siguiente manera.

Fijemos  $t = \theta$ . Entonces tenemos:

$$F(\theta) = 1 - e^{-\left(\frac{\theta}{\theta}\right)^\beta} = 1 - e^{-1} = 0.632 \quad (21)$$

Por lo tanto, el valor del parámetro  $\theta$  es el valor de  $t$  en el eje  $x$  que corresponde al valor del 63,2% en el eje  $y$ .

Los cálculos aplicando el procedimiento descrito se realiza utilizando la hoja de cálculo de Microsoft Excel, cuyos resultados se registrarán en la siguiente tabla.

**Tabla 8** : Registro de datos de los parámetros Weibull

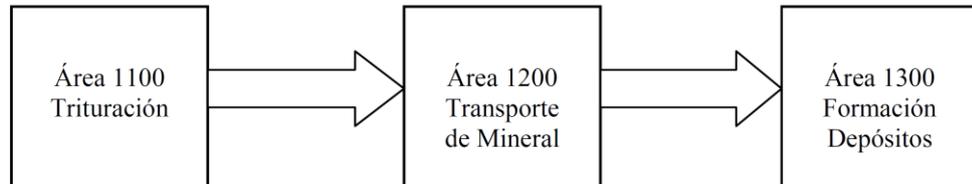
$i$	TIEMPO DE FALLA	$F(t)$	$\ln(t)$ $X$	$\ln(\ln(1/(1-F(t))))$ $Y$	$R(t)$	$\hat{F}(t) = \frac{i - 0.3}{N + 0.4}$
1						
2						
3						

Elaborado por el equipo de trabajo

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La concentradora de depósitos lixiviables, está conformada por las siguientes áreas indicadas en el diagrama siguiente:



**Figura N° 26:** Área 1300 Formación de depósitos lixiviables.



Fuente: Southern Perú.

#### 4.1. DIAGNÓSTICO DE LOS SISTEMAS, SUB SISTEMAS Y COMPONENTES DE LA CONCENTRADORA DEPÓSITOS LIXIVIALES.

Se realizó de acuerdo al método planteado para describir el estado real de operatividad de los equipos y componentes de la concentradora de depósitos lixiviables.

**Tabla 9 :** Diagnóstico

Sistema	Sub Sistema	Equipo	Condición de Operación
Concentradora Depósitos Lixiviables	Sistema de Chancado (Trituración) Área 1100 Trituración	Triturador giratorio 60"x 110" (1100-CR-001)	Operativo
		Alimentador de placas 1100-FE-005	Operativo
	Sistema de Transporte de Mineral Área 1200 Transporte de Mineral	Electroimán 1200-MA-001	Operativo
		Faja Transportadora Fija 1100-CV-001	Operativo
		Faja Transportadora Fija 1200-CV-002	Operativo
		Faja Transportadora "Overland" 1200-CV-003	Operativo
	Formación de Depósitos Lixiviables Área 1300 Formación Depósitos	Faja fija extensible en declive, 1300-CV-015	Operativo
		Faja Transportadora Fija 1300-CV-015	Operativo
		Faja Transportadora Fija 1300-CV-016	Operativo
		Faja Transportadora extensible 1300-CV-017	Operativo
		Faja puente Móvil 1300 - CV-018	Operativo
		Apilador móvil spreader 1300-CV-019	Operativo
		Faja Transportadora de Emergencia 1300-CV-030	Disponible emergencia
		Faja Transportadora de Emergencia 1300-CV-031	Disponible emergencia

Fuente: Southern Perú.

**Figura N° 27 : Boca de chancadora.**



Fuente: Southern Perú.

#### **4.2. ANÁLISIS DE MODOS, EFECTOS DE FALLA Y CRITICIDAD (AMEF) DEL SUB SISTEMA DE CHANCADO.**

De acuerdo a el procedimiento planteado y teniendo en consideración los sub sistemas y elementos identificados del Área 1100 Trituración que está conformado principalmente por un triturador giratorio 60”x 110” (1100-CR-001), el cual es alimentado permanentemente por volquetes. Los resultados siguientes establecidos en los cuadros a continuación:

**Tabla 10 : Análisis AMEF Araña**

<b>SISTEMA : Sistema de Chancado Área 1100 trituración</b>		<b>AMEF</b>				
<b>SUB SISTEMA : Araña</b>						
<b>FUNCIÓN</b>	<b>FALLA FUNCIONAL (pérdida de la función)</b>	<b>MODO DE FALLA (causa de la falla)</b>	<b>EFECTO DE FALLA (Qué sucede cuando se produce una falla)</b>			
1	Guiar el eje principal para que este pueda efectuar el movimiento pendular, distribuir en forma uniforme el material en la cámara de chancado del equipo.	A.1	No Guía el eje principal para que este pueda efectuar el movimiento pendular, distribuir en forma uniforme el material en la cámara de chancado del equipo.	1	Pernos sueltos de los revestimientos por impacto de material.	El chancador de paraliza, para el ajuste de los pernos.
				2	Desgaste del revestimiento.	Paralización del chancador para la sustitución del revestimiento.
				3	Eje no alineado, por desgaste del buje.	El chancador de paraliza, para el mantenimiento del buje.

Elaborado por el equipo de trabajo.

**Tabla 11 : Análisis AMEF Poste**

<b>SISTEMA : Sistema de Chancado Área 1100 Trituración</b>		<b>AMEF</b>				
<b>SUB SISTEMA: Poste</b>						
<b>FUNCIÓN</b>	<b>FALLA FUNCIONAL (pérdida de la función)</b>	<b>MODO DE FALLA (causa de la falla)</b>	<b>EFECTO DE FALLA (Qué sucede cuando se produce una falla)</b>			
2	Reducir el tamaño del mineral recibido de la mina a un tamaño adecuado para el proceso.	A.2	Incapaz de reducir el tamaño del mineral recibido de la mina a un tamaño adecuado para el proceso.	1	Mantos sueltos, oscilación del manto en el centro del poste,	El chancador se detiene. Se paraliza la producción
				2	El eje no gira, por pernos dañados.	El chancador se detiene. Se paraliza la producción, se realiza acciones de mantenimiento correctivo
				3	Motor eléctrico no arranca.	El chancador se detiene. Se paraliza la producción, se programa acciones de mantenimiento correctivo
				4	Atascamiento de material.	El chancador se detiene. Se paraliza la producción, se programa acciones de mantenimiento correctivo
				5	Fragmentos de Hierro, en la cámara del chancador.	El chancador se detiene. Se paraliza la producción, se programa acciones de mantenimiento correctivo
				6	El eje no gira falla en los bujes.	El chancador se detiene. Se paraliza la producción, se programa acciones de mantenimiento correctivo
				7	Sellos dañados desgastados.	El chancador se detiene. Se paraliza la producción, se programa acciones de mantenimiento correctivo

Elaborado por el equipo de trabajo.

**Tabla 12 : Análisis AMEF Conjunto eje piñón y extensión**

<b>SISTEMA : Sistema de Chancado Área 1100 Trituración</b>		<b>AMEF</b>		
<b>SUB SISTEMA : Conjunto Eje piñón y Eje de extensión</b>				
<b>FUNCIÓN</b>	<b>FALLA FUNCIONAL (pérdida de la función)</b>	<b>MODO DE FALLA</b>		<b>EFECTO DE FALLA (Qué sucede cuando se produce una falla)</b>
<b>3</b> Transmitir potencia a los RPM adecuados para accionar el engranaje de la excéntrica para que realice el movimiento oscilatorio del eje principal y del manto	<b>A.3</b> Incapaz de entregar la potencia necesaria para accionar el engranaje de la excéntrica para realizar el movimiento oscilatorio del eje y el manto a los RPM adecuados	1	Velocidad del eje secundario demasiado baja.	El chancador se para, lo que provoca la interrupción de la operación.
		2	El eje secundario del chancador gira en el sentido incorrecto.	El chancador se para, lo que provoca la interrupción de la operación.
		3	Eje secundario doblado.	Se presenta vibración excesiva se requiere acciones correctivas, el chancador se detiene.
		4	Los rpm del eje secundario son demasiado altos.	Se presenta vibración excesiva se requiere acciones correctivas.
		5	El aceite no se drena suficientemente rápido de la caja del eje secundario o la caja del obturador de aceite.	Fugas de aceite en el extremo de la polea de la caja del eje secundario, requiere acciones correctivas.
		6	Los agujeros de lubricación en el eje principal obstruidos.	Recalentamiento del chancador, requiere acciones correctivas
		7	La manguera del soplador a la caja del eje secundario no funciona.	Contaminación por el polvo y la suciedad en el sistema de lubricación, requiere acciones correctivas

Elaborado por el equipo de trabajo.

**Tabla 13 : Análisis AMEF Excéntrica.**

<b>SISTEMA : Sistema de Chancado Área 1100 Trituración</b>		<b>AMEF</b>				
<b>SUB SISTEMA : Excéntrica</b>						
<b>FUNCIÓN</b>		<b>FALLA FUNCIONAL (pérdida de la función)</b>		<b>MODO DE FALLA</b>	<b>EFECTO DE FALLA (Qué sucede cuando se produce una falla)</b>	
4	Producir el efecto giratorio del eje principal a los rpm establecidos.	A.4	Incapaz de producir el efecto giratorio del eje principal a los rpm establecidos.	1	Atascamiento de la Excéntrica por adhesión entre eje y el buje de la excéntrica	No se puede accionar el cilindro de ajuste, requiere acciones correctivas el chancador sale de la operación.
				2	Buje dañado, por falta de lubricación.	Requiere acciones correctivas.
				3	Ruidos extraños en el conjunto Piñón Corona. Por desgaste excesivo en los dientes del piñón.	Recalentamiento del conjunto Piñón Corona, requiere acciones correctivas se paraliza el chancador.

Elaborado por el equipo de trabajo.

**Tabla 14 : Análisis AMEF Hidroset.**

<b>SISTEMA : Sistema de Chancado Área 1100 Trituración</b>		<b>AMEF</b>				
<b>SUB SISTEMA : Hydroset</b>						
<b>FUNCIÓN</b>		<b>FALLA FUNCIONAL (pérdida de la función)</b>		<b>MODO DE FALLA</b>	<b>EFECTO DE FALLA (Qué sucede cuando se produce una falla)</b>	
5	Accionar el eje principal, para ajustar las distancias y mantener la posición del eje. Protege de inchancables.	A.5	Incapaz de accionar el eje principal, para ajustar las distancias y mantener la posición del eje.	1	Fuga de aceite, por la válvula solenoide, sello de aceite Hydroset dañado.	Requiere acciones correctivas el chancador sale de la operación.
				2	Sellos de pistón hidráulicos gastados o defectuosos.	Requiere acciones correctivas el chancador sale de la operación.
				3	Desalineamiento del conjunto.	Ruido o vibración excesiva, requiere acciones correctivas el chancador sale de la operación.

Elaborado por el equipo de trabajo.



**Tabla 15** : Análisis AMEF Revestimientos.

<b>SISTEMA : Sistema de Chancado</b>				<b>AMEF</b>		
<b>Área 1100 Trituración</b>						
<b>SUB SISTEMA : Revestimientos</b>						
<b>FUNCIÓN</b>		<b>FALLA FUNCIONAL (pérdida de la función)</b>		<b>MODO DE FALLA</b>		<b>EFECTO DE FALLA (Qué sucede cuando se produce una falla)</b>
<b>6</b>	Proteger las partes del chancador expuesta a desgaste.	<b>A.6</b>	Incapaz de proteger las partes del chancador expuesta a desgastes	1	Desgaste revestimientos de la araña de cóncavas, Cuerpo Inferior y revestimientos del poste.	Sistema no protegido contra desgaste, acciones preventivas, el chancador se detiene, se paraliza la operación.

Elaborado por el equipo de trabajo.

**Tabla 16 : Análisis AMEF Lubricación.**

<b>SISTEMA : Sistema de Chancado Área 1100 Trituración</b>				<b>AMEF</b>		
<b>SUB SISTEMA : Lubricación</b>						
<b>FUNCIÓN</b>	<b>FALLA FUNCIONAL (pérdida de la función)</b>	<b>MODO DE FALLA</b>		<b>EFFECTO DE FALLA (Qué sucede cuando se produce una falla)</b>		
7	A.7	Mantener la temperatura del sistema dentro de los estándares de operación establecidos mediante la lubricación adecuada.	No mantiene la temperatura del sistema dentro de los estándares de operación establecidos mediante la lubricación adecuada	1	La bomba no está cebada	Pérdida de flujo o baja capacidad, el chancador se detiene para realizar acciones correctivas.
				2	Velocidad baja de la bomba	Pérdida de flujo o baja capacidad, el chancador se detiene para realizar acciones correctivas.
				3	Rotación incorrecta de la bomba	Pérdida de flujo o baja capacidad, el chancador se detiene para realizar acciones correctivas.
				4	Obstrucción en la tubería	Pérdida de flujo o baja capacidad, el chancador se detiene para realizar acciones correctivas.
				5	Desgaste de los engranajes de la bomba	Pérdida de flujo o baja capacidad, el chancador se detiene para realizar acciones correctivas.
				6	Tubería de succión cerrada, bloqueada o con fugas	Pérdida de succión, el chancador se detiene para realizar acciones correctivas.
				7	Aire en el sistema	Presión de descarga baja, el chancador se detiene para realizar acciones correctivas.
				8	Velocidad baja del motor	Presión de descarga baja, el chancador se detiene para realizar acciones correctivas.
				9	Fuga de la válvula de alivio	Presión de descarga baja, el chancador se detiene para realizar acciones correctivas.
				10	Desalineamiento	Ruido o vibración excesivo o inusual, el chancador se detiene para realizar acciones correctivas.
				11	Tubería de succión restringida	Ruido o vibración excesivo o inusual, el chancador se detiene para realizar acciones correctivas.
				12	Chirrido o fugas de la válvula de alivio	Ruido o vibración excesivo o inusual, el chancador se detiene para realizar acciones correctivas.
				13	Aceite insuficiente	Desgaste rápido de la bomba, el chancador se detiene para realizar acciones correctivas.
				14	Las tuberías de succión y descarga de la bomba están cerradas o bloqueadas	Uso excesivo de corriente, el chancador se detiene para realizar acciones correctivas.
				15	Velocidad excesiva de la bomba	Uso excesivo de corriente, el chancador se detiene para realizar acciones correctivas.

Elaborado por el equipo de trabajo.

**Tabla 17 : Análisis AMEF Unidad hidráulica.**

<b>SISTEMA : Sistema de Chancado Área 1100 Trituración</b>		<b>AMEF</b>				
<b>SUB SISTEMA : Unidad Hidráulica</b>						
<b>FUNCIÓN</b>		<b>FALLA FUNCIONAL (pérdida de la función)</b>		<b>MODO DE FALLA</b>		<b>EFECTO DE FALLA (Qué sucede cuando se produce una falla)</b>
<b>8</b>	Impulsar el líquido hidráulico necesario para el movimiento del pistón hidráulico de posición del poste	<b>A.1</b>	Incapaz de impulsar el líquido hidráulico necesario para el movimiento del pistón hidráulico de posición del poste	1	Nivel de aceite en el estanque muy bajo.	El chancador se detiene para realizar acciones correctivas.
				2	Obstrucción en la línea de succión de la bomba.	El chancador se detiene para realizar acciones correctivas.
				3	Filtros bloqueados o restringidos.	El chancador se detiene para realizar acciones correctivas.
				4	El motor eléctrico no funciona por conexiones eléctricas defectuosas.	El chancador se detiene para realizar acciones correctivas.

Elaborado por el equipo de trabajo.

**Tabla 18 : Análisis AMEF Motor eléctrico.**

<b>SISTEMA : Sistema de Chancado Área 1100 Trituración</b>		<b>AMEF</b>				
<b>SUB SISTEMA : Motor eléctrico</b>						
<b>FUNCIÓN</b>		<b>FALLA FUNCIONAL (pérdida de la función)</b>		<b>MODO DE FALLA</b>		<b>EFECTO DE FALLA (Qué sucede cuando se produce una falla)</b>
<b>9</b>	Convertir la energía eléctrica en energía mecánica, con la potencia y los rpm adecuados.	<b>A.1</b>	Incapaz de convertir la energía eléctrica en energía mecánica, con la potencia y los rpm adecuados.	1	El motor no entrega la potencia al chancador por sobrecarga.	El chancador se detiene para realizar acciones correctivas.
				2	Falla la aislación del motor por humedad en el ambiente por filtraciones de líquido.	El chancador se detiene para realizar acciones correctivas.
				3	Conexiones eléctricas defectuosas.	El chancador se detiene para realizar acciones correctivas.

Elaborado por el equipo de trabajo.

### 4.3. COMPONENTES CRÍTICOS DE LA CONCENTRADORA DE DEPÓSITOS LIXIVIABLES.

Utilizando la metodología planteada realizamos el análisis de criticidad de los diferentes elementos componentes de la concentradora de depósitos lixiviables. Para lo cual se realizará el análisis de modos y efectos de fallas para poder determinar el nivel de riesgo y su criticidad de los diferentes elementos analizados en la presente investigación.

#### 4.3.1. Análisis de criticidad

Con el registro de las fallas o eventos en la planta podemos realizar el análisis de criticidad para Sistema de Formación de Depósitos Lixiviables.

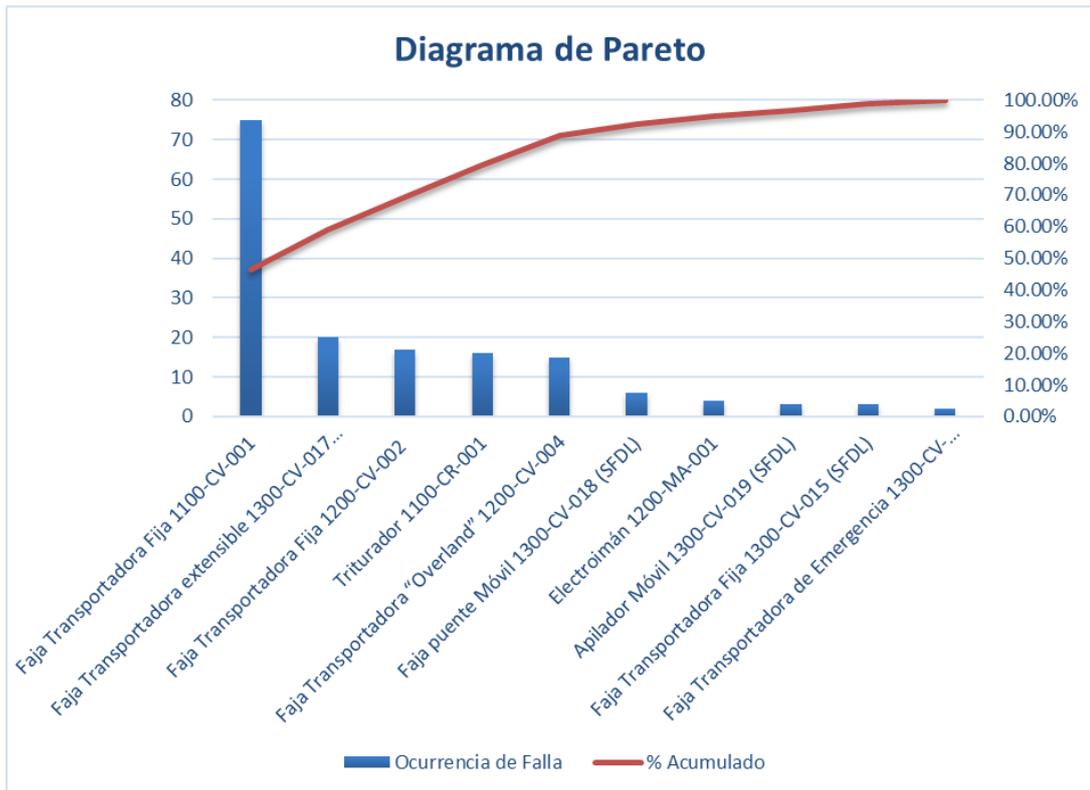
Para el caso del sistema en el periodo de estudio se tiene el registro de los siguientes eventos que se muestran en la tabla a continuación:

**Tabla 19** :Registro de eventos planta.

Item	Sistema de Formación de Depósitos Lixiviables	Ocurrencia de Falla	Acumulado	% Acumulado
1	Faja Transportadora Fija 1100-CV-001	75	75	46.58%
2	Faja Transportadora extensible 1300-CV-017 (SFDL)	20	95	59.01%
3	Faja Transportadora Fija 1200-CV-002	17	112	69.57%
4	Triturador 1100-CR-001	16	128	79.50%
5	Faja Transportadora "Overland" 1200-CV-004	15	143	88.82%
6	Faja puente Móvil 1300-CV-018 (SFDL)	6	149	92.55%
7	Electroimán 1200-MA-001	4	153	95.03%
8	Apilador Móvil 1300-CV-019 (SFDL)	3	156	96.89%
9	Faja Transportadora Fija 1300-CV-015 (SFDL)	3	159	98.76%
10	Faja Transportadora de Emergencia 1300-CV-030 (SFDL)	2	161	100.00%

Elaborado por el equipo de trabajo.

**Figura N° 28 :** Diagrama de Pareto Planta de depósitos.



Elaborado por el equipo de trabajo.

La criticidad usando FMECA definida por el RPN viene dada por la siguiente ecuación: (Lazzaroni et al., 2013).

$$RPN = S * O * D \quad ( 22 )$$

Del análisis de los eventos registrados en Sistema de Formación de Depósitos Lixiviables se procede a realizar el análisis de criticidad de acuerdo al método propuesto y la valoración de las tablas.

**Tabla 20 : Clasificación Gravedad (S)**

Gravedad (S)		
Duración del servicio interrupción	Criterio de severidad	Valor
> 8h	muy catastrófica	8
7h	Catastrófico	7
6h	Muy serio	6
5h	Grave	5
4h	Medio	4
3h	Significativo	3
2h	Menor	2
1h	muy menor	1
30 minutos	Pequeña	0.6
<30 min	Muy pequeña	0.2

Fuente: (Yssaad et al., 2014)

**Tabla 21 : Clasificación Ocurrencia (O)**

Ocurrencia (O)		
Posible tasa de ocurrencia	Criterio de Ocurrencia	Valor
Una vez cada 12 años	Falla cerca de cero o nulo	1
Una vez cada 10 años	Muy bajo, aislamiento de la falla, raramente	2
Una vez cada 8 años	Bajo, a menudo falla	3
Una vez cada 6 años		4
Una vez cada 4 años	Promedio, fallas ocasionales	5
Una vez cada 2 años		6
Una vez al año		7
Una vez cada 6 meses	Alta, falla frecuente	8
Una vez al mes		9
Una vez cada semana	Muy alto	10

Fuente: (Yssaad et al., 2014)

**Tabla 22 : Clasificación Detección (D)**

Detección (D)		
Nivel de detección	Criterio de detección	Valor
No detectable	Imposible	10
Difíciles de detectar	Muy difícil	9
	Muy tarde	8
detectar al azar (Improbable)	No es seguro	7
	Ocasional	6
Posible detección	Bajo	5
	tarde	4
Detección confiable	Fácil	3
	inmediato	2
Detección permanente	Acción correctiva inmediata	1

Fuente: (Yssaad et al., 2014)

**Tabla 23 : Clasificación Criticidad**

CRITICIDAD ( C )		RIESGO O PELIGRO
NIVEL DE CRITICIDAD	VALOR	
MENOR	0-30	ACEPTABLE
MEDIO	31-60	TOLERABLE
ALTO	61-180	
MUY ALTO	181-252	INACEPTABLE
CRITICO	253-324	
MUY CRITICO	>324	

Fuente: (Yssaad et al., 2012).

Utilizando la ecuación 22 y aplicando la valoración correspondiente tenemos lo siguiente para el sub sistema de trituración:

**Tabla 24** : Análisis de criticidad sub sistema de trituración.

Equipo		Ocurrencia (O)	Gravedad (S)	Detectabilidad (D)	RPN = S × O × D	Criticidad	Nivel	
Sub Sistema de Chancado Área 1100 Trituración	Triturador 1100-CR-001	Poste	2	6	4	48	Medio	Tolerable
		Revestimientos (Cónovas)	2	6	4	48	Medio	Tolerable
		Conjunto Excéntrica	2	4	5	40	Medio	Tolerable
		Conjunto Eje Piñón y Eje Extensión	2	4	5	40	Medio	Tolerable
		Conjunto Cilindro Hidráulico para posicionamiento del poste	2	4	7	56	Medio	Tolerable
		Araña	2	4	7	56	Medio	Tolerable
		Cuerpo	2	7	4	56	Medio	Tolerable
		Sistema sellado de polvo	2	7	6	84	Alto	Tolerable
		Sistema Eléctrico	7	6	3	126	Alto	Tolerable
		Motor eléctrico	2	4	8	64	Medio	Tolerable
		Sistema de Lubricación	Deposito de lubricante	2	4	3	24	Bajo
	Filtros de lubricante		6	4	4	96	Medio	Tolerable
	Motor sistema lubricación		2	4	5	40	Medio	Tolerable
	Bomba		2	4	4	32	Medio	Tolerable
	Tubería de succión		2	4	5	40	Medio	Tolerable
	Válvulas		5	4	3	60	Medio	Tolerable
	Unidad de potencia	Deposito liquido hidráulico	2	4	3	24	Bajo	Aceptable
		Motor hidráulico	5	4	3	60	Medio	Tolerable
		Bomba hidráulica	5	4	2	40	Medio	Tolerable
		Pistón hidráulico	5	4	4	80	Medio	Tolerable
		Válvula de Alivio	2	4	3	24	Medio	Tolerable

Elaborado por el equipo de trabajo.

Para la propuesta del plan de mantenimiento se seguirá el método propuesto en base a la criticidad y de acuerdo al valor del RPN los valores se toman de la siguiente tabla.



**Tabla 25 : Acción de mantenimiento**

Plan de Mantenimiento		
Elemento	Criticidad ( C ) RPN	Acción de mantenimiento
	0-30	Acción correctiva
	31-60	Mantenimiento preventivo sistemático
	61-180	
	181-252	Revisión del diseño completo (Rediseño)
	253-324	
	>324	

Fuente: (Yssaad et al., 2012).

Utilizando los valores de la tabla 25, aplicando la valoración correspondiente tenemos las acciones de mantenimiento propuestas de acuerdo al valor de criticidad de cada elemento para el sub sistema de trituración:

**Tabla 26** : Acciones de mantenimiento sub sistema de trituración.

		Equipo	RPN	Criticidad	Acción de mantenimiento
Sub Sistema de Chancado Área 1100 Trituración	Triturador 1100-CR-001	Poste	48	Tolerable	Mantenimiento preventivo sistemático
		Revestimientos (Cóncavas)	48	Tolerable	
		Conjunto Excéntrica	40	Tolerable	
		Conjunto Eje Piñón y Eje Extensión	40	Tolerable	
		Conjunto Cilindro Hidráulico para posicionamiento del poste	56	Tolerable	
		Araña	56	Tolerable	
		Cuerpo	56	Tolerable	
		Sistema sellado de polvo	84	Tolerable	
		Sistema Eléctrico	126	Tolerable	
		Motor eléctrico	64	Tolerable	
	Sistema de Lubricación	Deposito de lubricante	24	Aceptable	Acción correctiva
		Filtros de lubricante	96	Tolerable	Mantenimiento preventivo sistemático
		Motor sistema lubricación	40	Tolerable	
		Bomba	32	Tolerable	
		Tubería de succión	40	Tolerable	
		Válvulas	60	Tolerable	
	Unidad de potencia hidráulica	Deposito liquido hidráulico	24	Aceptable	Acción correctiva
		Motor hidráulico	60	Tolerable	Mantenimiento preventivo sistemático
		Bomba hidráulica	40	Tolerable	
		Pistón hidráulico	80	Tolerable	
Válvula de Alivio		24	Tolerable		

Elaborado por el equipo de trabajo.

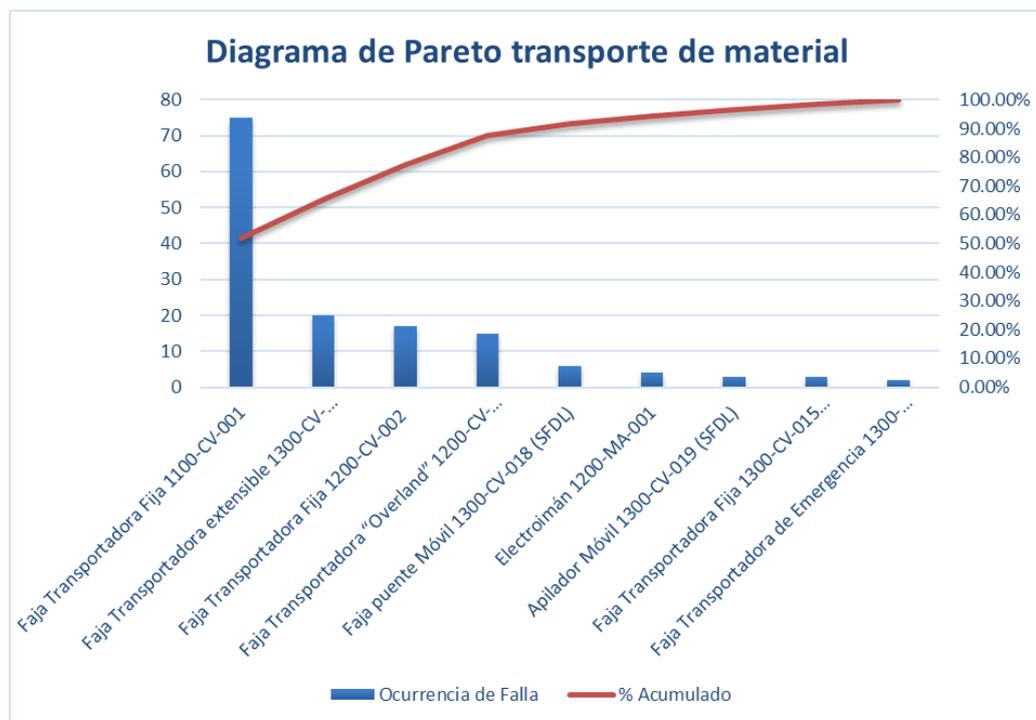
Siguiendo el método ya descrito y aplicando la valoración correspondiente tenemos lo siguiente para el sub sistema de fajas, para lo cual identificamos los equipos que presentan la mayor cantidad de eventos y de acuerdo al resultado se realiza el análisis de criticidad:

**Tabla 27** :Registro de eventos sub sistema de transporte de material.

Item	Sistema de Transporte de Mineral	Ocurrencia de Falla	Acumulado	% Acumulado
1	Faja Transportadora Fija 1100-CV-001	75	75	51.72%
2	Faja Transportadora extensible 1300-CV-017 (SFDL)	20	95	65.52%
3	Faja Transportadora Fija 1200-CV-002	17	112	77.24%
4	Faja Transportadora "Overland" 1200-CV-004	15	127	87.59%
5	Faja puente Móvil 1300-CV-018 (SFDL)	6	133	91.72%
6	Electroimán 1200-MA-001	4	137	94.48%
7	Apilador Móvil 1300-CV-019 (SFDL)	3	140	96.55%
8	Faja Transportadora Fija 1300-CV-015 (SFDL)	3	143	98.62%
9	Faja Transportadora de Emergencia 1300-CV-030 (SFDL)	2	145	100.00%

Elaborado por el equipo de trabajo.

**Figura N° 29** : Diagrama de Pareto Transporte de material.



Elaborado por el equipo de trabajo.

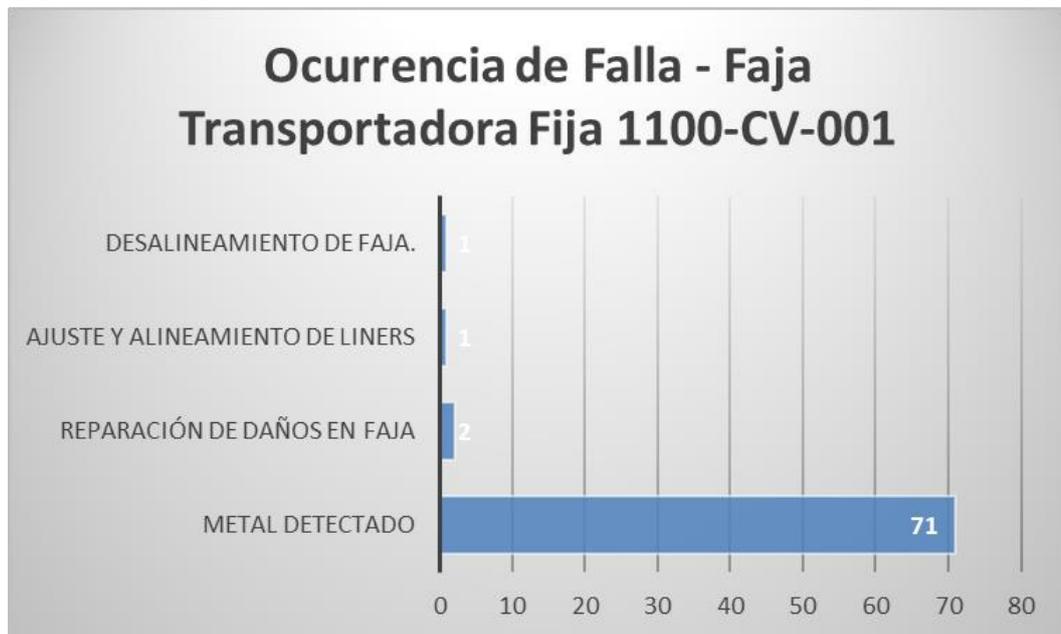
Del registro de eventos podemos analizar el comportamiento de la faja fija 1100 CV 001, que nos da como resultado lo registrado en la siguiente tabla que se muestra a continuación:

**Tabla 28** : Registro de eventos Faja fija 1100 CV 001.

Item	Faja Transportadora Fija 1100-CV-001	Ocurrencia de Falla	Acumulado	% Acumulado
1	Metal detectado	71	71	94.67%
2	Reparacion de daños en faja	2	73	97.33%
3	Ajuste y alineamiento de Liners	1	74	98.67%
4	Desalineamiento de faja	1	75	100.00%

Elaborado por el equipo de trabajo.

**Figura N° 30** : Diagrama de Pareto Faja fija 1100 CV 001.



Elaborado por el equipo de trabajo.

Verificamos que el evento recurrente en esta faja es la detección de metal en la faja lo que activa el sistema de protección de detección de metales.

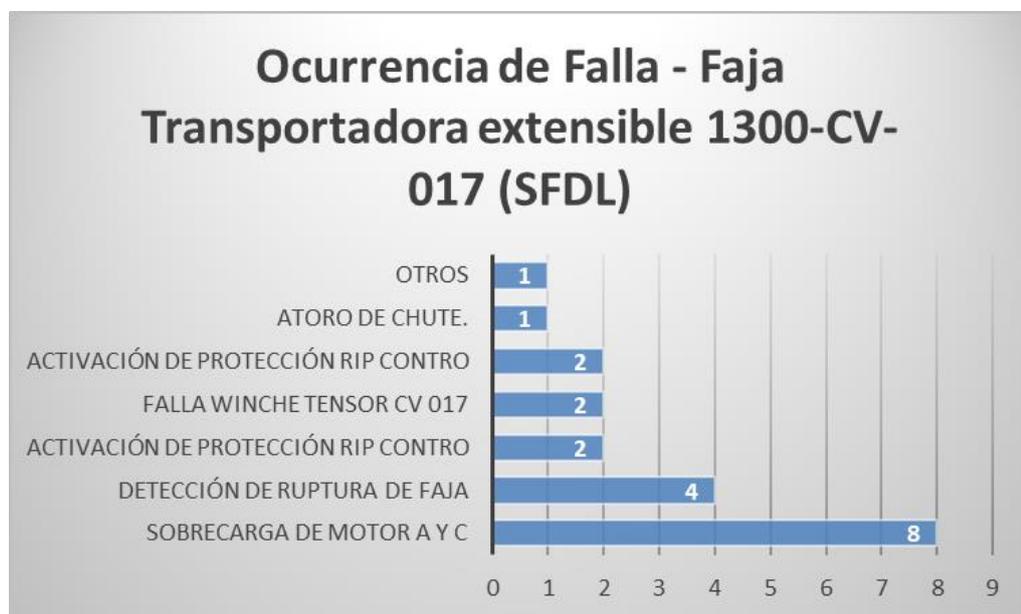
Para la faja de transporte extensible 1300 CV 017 tenemos lo siguiente:

**Tabla 29** :Registro de eventos faja extensible 1300 CV 017.

Item	Faja Transportadora extensible 1300-CV-017 (SFDL)	Ocurrencia de Falla	Acumulado	% Acumulado
1	Sobrecarga de motor A y C	8	8	40.00%
2	Deteccion de ruptura de faja	4	12	60.00%
3	Activacion de proteccion Rip Contro	2	14	70.00%
4	Falla winche tensor CV 017	2	16	80.00%
5	Activacion de proteccion Rip Contro	2	18	90.00%
6	Atoro de chute	1	19	95.00%
7	Otros	1	20	100.00%

Elaborado por el equipo de trabajo.

**Figura N° 31** : Diagrama de registro de eventos faja extensible 1300 CV 017.



Elaborado por el equipo de trabajo.

Para la faja transportadora extensible 1300-CV-017 (SFDL), la falla importante para el análisis es la sobrecarga del motor.

Las demás fajas presentan fallas aisladas en los componentes por lo que no es posible determinar un evento recurrente importante.

El resultado del análisis de criticidad para el subsistema de transporte de material se muestra en la tabla a continuación:

**Tabla 30** : Análisis de criticidad sub sistema de transporte de mineral.

Equipo		Ocurrencia (O)	Gravedad (S)	Detectabilidad (D)	RPN = S × O × D	Criticidad	Nivel	
Sub Sistema de Transporte de Mineral Area 1200	Estructura	Chute de transferencia	7	6	4	168	Alto	Tolerable
		SopORTE de la estructura	5	6	4	120	Alto	Tolerable
		Paredes laterales	5	4	5	100	Alto	Tolerable
		Cartelas de refuerzo	5	4	2	40	Medio	Tolerable
		Compuerta de inspección	5	4	2	40	Medio	Tolerable
		Liners de desgaste	5	4	2	40	Medio	Tolerable
		Liners guíadores	5	7	2	70	Alto	Tolerable
		Bastidores	5	7	2	70	Alto	Tolerable
		Elementos de unión	2	4	2	16	Bajo	Aceptable
		Mesas	2	4	2	16	Bajo	Aceptable
	Sistema Móvil Polines, poleas	Polín de carga	2	4	3	24	Bajo	Aceptable
		Polín de impacto	6	4	4	96	Medio	Tolerable
		Polín de retorno	2	4	5	40	Medio	Tolerable
		Polín autoalineante	2	4	3	24	Bajo	Aceptable
		Polea motriz	2	4	3	24	Bajo	Aceptable
		Polea de cola	2	4	3	24	Bajo	Aceptable
		Polea deflectora	2	4	3	24	Bajo	Aceptable
		Polea tensora	2	4	3	24	Bajo	Aceptable
		Chumaceras	2	4	5	40	Medio	Tolerable
		Revestimiento	2	4	5	40	Medio	Tolerable
		Empalmes	2	4	5	40	Medio	Tolerable
		Banda	2	4	5	40	Medio	Tolerable
		Unidad de	Motor eléctrico	7	9	6	378	Muy critico
	Reductor		5	4	3	60	Medio	Tolerable
	Acoplamientos		5	4	2	40	Medio	Tolerable
	Freno		5	4	4	80	Medio	Tolerable

Elaborado por el equipo de trabajo.

Para la propuesta del plan de mantenimiento se seguirá el método propuesto en base a la criticidad y de acuerdo al valor del RPN

**Tabla 31** : Acciones de mantenimiento sub sistema de transporte de material

		Equipo	RPN = S × O × D	Criticidad	Nivel	Acción de mantenimiento	
Sub Sistema de Transporte de Mineral Área 1200	Estructura	Chute de transferencia	168	Alto	Tolerable	Mantenimiento preventivo sistemático	
		Soporte de la estructura	120	Alto	Tolerable		
		Paredes laterales	100	Alto	Tolerable		
		Cartelas de refuerzo	40	Medio	Tolerable		
		Compuerta de inspección	40	Medio	Tolerable		
		Liners de desgaste	40	Medio	Tolerable		
		Liners guidores	70	Alto	Tolerable		
		Bastidores	70	Alto	Tolerable		
		Elementos de unión	16	Bajo	Aceptable		
		Mesas	16	Bajo	Aceptable		
	Sistema Móvil Polines, poleas	Polín de carga	24	Bajo	Aceptable	Acción correctiva	
		Polín de impacto	96	Medio	Tolerable		
		Polín de retorno	40	Medio	Tolerable	Mantenimiento preventivo sistemático	
		Polín autoalineante	24	Bajo	Aceptable		
		Polea motriz	24	Bajo	Aceptable	Acción correctiva	
		Polea de cola	24	Bajo	Aceptable		
		Polea deflectora	24	Bajo	Aceptable		
		Polea tensora	24	Bajo	Aceptable		
		Chumaceras	40	Medio	Tolerable	Mantenimiento preventivo sistemático	
		Revestimiento	40	Medio	Tolerable		
		Empalmes	40	Medio	Tolerable		
		Banda	40	Medio	Tolerable		
		Unidad de	Motor eléctrico	378	Muy critico	Inaceptable	Revisión del diseño completo (Rediseño)
			Reductor	60	Medio	Tolerable	Mantenimiento preventivo sistemático
	Acoplamientos		40	Medio	Tolerable		
	Freno		80	Medio	Tolerable		

Elaborado por el equipo de trabajo.

Del análisis tenemos un componente crítico que es el motor eléctrico para lo cual se recomienda acciones de revisión del diseño.

#### 4.4. CÁLCULO DE LA CONFIABILIDAD MEDIANTE LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LA DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL.

El cálculo de la confiabilidad se estima para el elemento crítico de la Concentradora Depósitos Lixiviables. En este caso tenemos un equipo crítico correspondiente a la faja de transporte extensible 1300 CV 017 que es el motor eléctrico.

Para este caso empezamos con el registro de los eventos relacionado con él y que se muestra en la tabla a continuación.

**Tabla 32** : Registro de fallas de motor eléctrico.

Item	Fecha de Inicio de Evento	Fecha Final de Evento	t (días)
1	19/03/2020	19/03/2020	1
2	04/07/2020	04/07/2020	107
3	31/07/2020	31/07/2020	27
4	06/08/2020	06/08/2020	7
5	28/09/2020	28/09/2020	52
6	29/09/2020	29/09/2020	1
7	09/10/2020	09/10/2020	10

Elaborado por el equipo de trabajo.

Con los datos del intervalo “t” que describen el periodo en días registrado entre cada evento de falla del motor eléctrico, como primer paso para el cálculo procedemos a ordenar estos datos de menor a mayor como se muestra a continuación.

Item	t (días)
1	1
2	1
3	7
4	10
5	27
6	52
7	107

Según el procedimiento planteado se calcula la distribución acumulada de fallas

la cual se obtiene mediante la aproximación de Bernard:

$$\text{Rango de la mediana} = \frac{i - 0.3}{n + 0.4} \quad (23)$$

Donde:

$n$ ; es el número de elementos de la prueba

$i$ ; el número en que falló

**Tabla 33** : Rango promedio de fallas motores eléctricos.

Rango Medio $i$	t (hrs)	$\frac{i - 0.3}{n + 0.4}$
1	1	9.46%
2	7	22.97%
3	10	36.49%
4	27	50.00%
5	52	63.51%
6	107	77.03%

Elaborado por el equipo de trabajo.

Para el trazado de la gráfica de Weibull en la hoja de Excel en primer lugar hallamos las abscisas “X” mediante la siguiente la siguiente expresión:

$$x = \ln t \quad (24)$$

Y para las ordenadas utilizamos la siguiente expresión.

$$y = \ln \left( \frac{1}{\ln (1 - F(t))} \right) \quad (25)$$

Los resultados de los cálculos utilizando la hoja de cálculo de Excel tenemos lo siguiente:

**Tabla 34** : Parámetros X, Y de la distribución Weibull

$t$ (hrs)	$\frac{i - 0.3}{n + 0.4}$	$x = \ln t$	$y = \ln\left(\frac{1}{\ln(1 - F(t))}\right)$
1	9.46%	0	-2.308880127
7	22.97%	1.945910149	-1.343181902
10	36.49%	2.302585093	-0.789839834
27	50.00%	3.295836866	-0.366512921
52	63.51%	3.951243719	0.00819456
107	77.03%	4.672828834	0.385841654

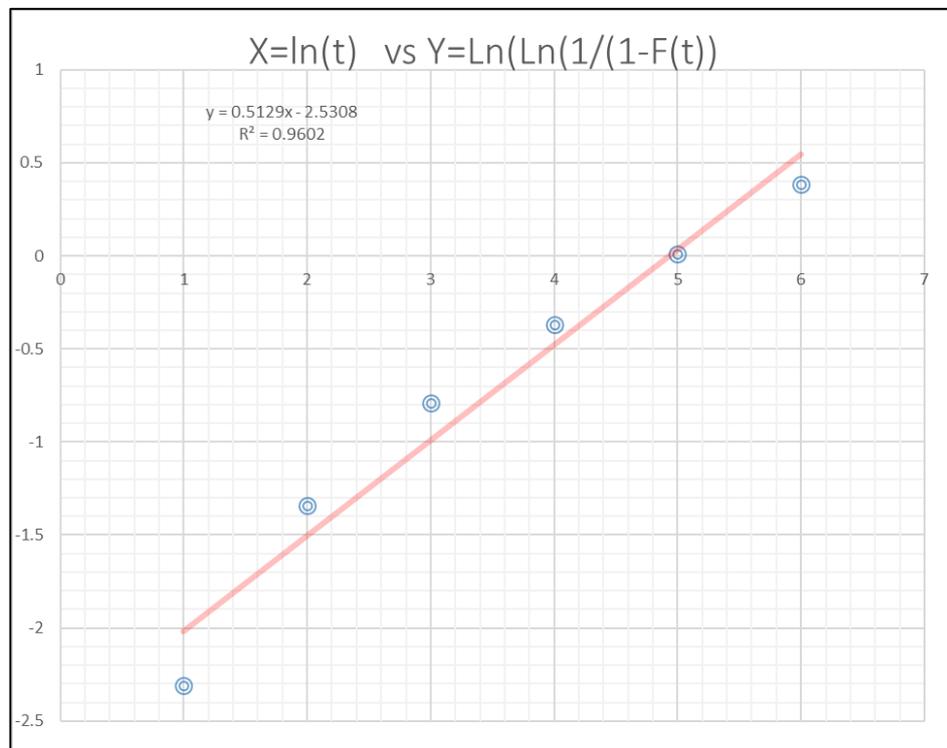
Elaborado por el equipo de trabajo.

Con los datos obtenidos de X, Y se procede a realizar la gráfica de Weibull que corresponde a la siguiente ecuación.

$$y = \beta x - \beta \ln \theta \quad (26)$$

la cual se muestra a continuación:

**Figura N° 32:** Gráfica Weibull



Elaborado por el equipo de trabajo.

De la gráfica de Weibull obtenemos el parámetro  $\beta$ , que es la pendiente de la recta  $y = 0.5129x - 2.5808$ . De donde obtenemos los parámetros siguientes:

$\beta$  : es el parámetro de forma.

$\theta$  : es el parámetro de escala (vida característica).

$\gamma$  : Parámetro de localización

$\beta$	0.585
$\gamma$	0
$\theta$	52

Si los datos se aproximan a una línea recta, entonces  $\gamma = 0$ .

Vida característica  $\theta$ ; nos da un tiempo estimado de 52 días.

El parámetro de forma  $\beta$  obtenido;  $0.58 < 1$ ; nos indica que el riesgo de falla disminuye a medida que avanza el desgaste.

Calculamos la función de fiabilidad mediante la siguiente expresión:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\theta}\right)^\beta} \quad (27)$$

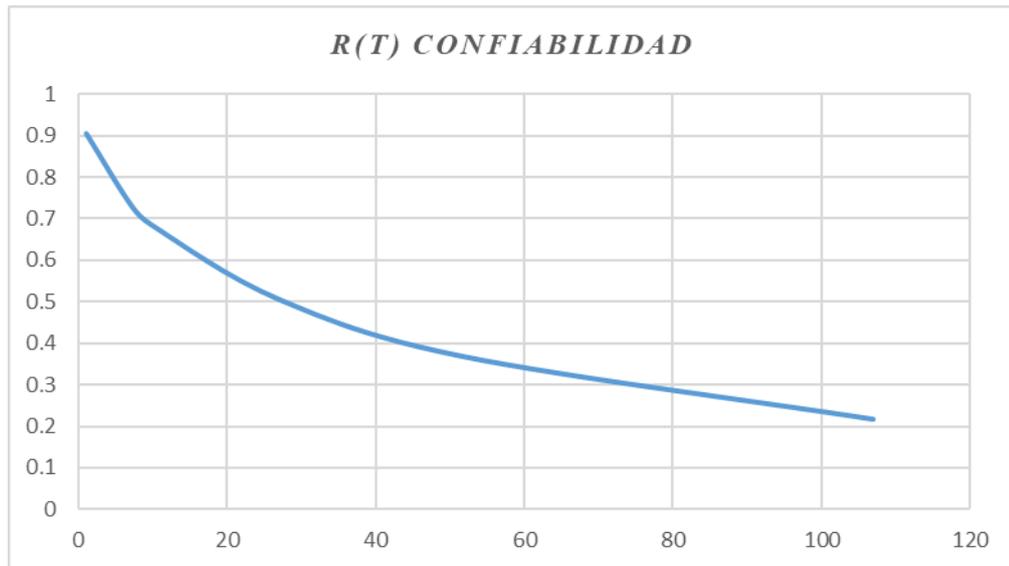
**Tabla 35** : Cálculo de la confiabilidad.

$i$	TIEMPO DE FALLA	$F(t)$	$\ln(t)$ $X$	$\ln(\ln(1/(1-F(t))))$ $Y$	$R(t)$
1	1	0.09429135	0	-2.312255705	0.905708653
2	7	0.2659537	1.94591015	-1.173821371	0.734046297
3	10	0.31677096	2.30258509	-0.965152433	0.683229041
4	27	0.49393489	3.29583687	-0.384060896	0.506065106
5	52	0.63189174	3.95124372	-0.000621987	0.368108257
6	107	0.78222607	4.67282883	0.421533821	0.217773932

Elaborado por el equipo de trabajo.

Del cálculo realizado de la confiabilidad obtenemos la gráfica de la confiabilidad para este elemento.

**Figura N° 33:** Gráfica Confiabilidad motor eléctrico.



Elaborado por el equipo de trabajo.

De la gráfica podemos deducir la evolución de la fiabilidad que para un tiempo de 30 días podemos obtener una fiabilidad del elemento del 40%, es decir se tendría que realizar el mantenimiento preventivo del equipo.

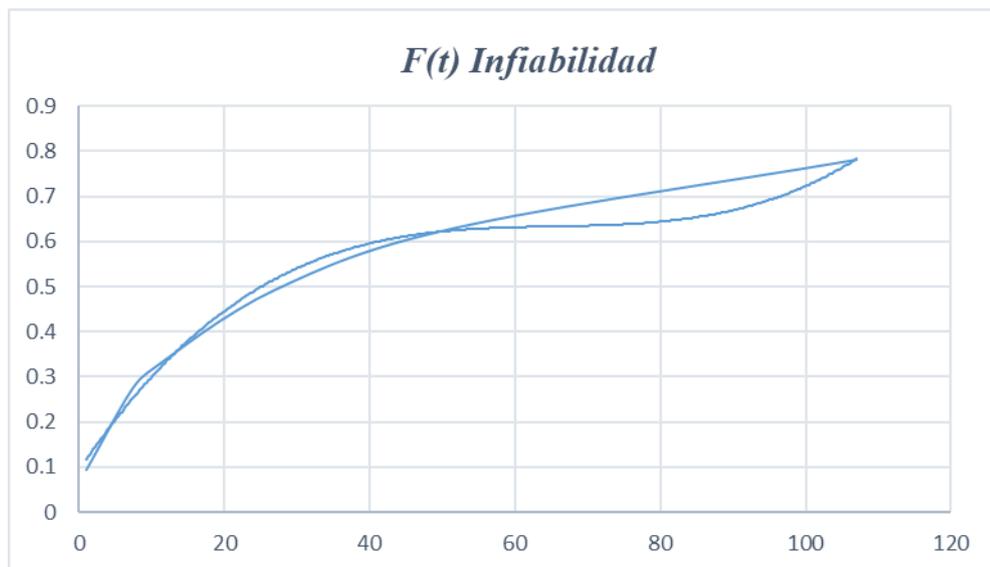
También podemos graficar la in fiabilidad.

**Tabla 36 :** Estimación de la in fiabilidad.

<i>i</i>	TIEMPO DE FALLA	$F(t)$	$\ln(t)$ <i>X</i>	$\ln(\ln(1/(1-F(t))))$ <i>Y</i>	$R(t)$	$F(t)$
1	1	0.09429135	0	-2.312255705	0.905708653	0.094291347
2	7	0.2659537	1.94591015	-1.173821371	0.734046297	0.265953703
3	10	0.31677096	2.30258509	-0.965152433	0.683229041	0.316770959
4	27	0.49393489	3.29583687	-0.384060896	0.506065106	0.493934894
5	52	0.63189174	3.95124372	-0.000621987	0.368108257	0.631891743
6	107	0.78222607	4.67282883	0.421533821	0.217773932	0.782226068

Elaborado por el equipo de trabajo.

**Figura N° 34:** Gráfica Infiabilidad motor eléctrico



Elaborado por el equipo de trabajo.

De acuerdo al análisis de criticidad y al método propuesto el equipo requiere acciones de rediseño o modificación, sin embargo, podemos establecer tiempos de mantenimiento preventivo en tanto se realiza el análisis para la modificación del equipo.

Este periodo propuesto de acuerdo a la evaluación de un intervalo de 30 días con una confiabilidad de 50%

De acuerdo al diseño, la faja CV017 cuenta con 03 motores eléctricos de 4160VAC y 600HP de potencia, los cuales van conectados a una caja reductora por motor por medio de acoples hidráulicos, instalados en cabeza de la misma, 02 de ellos en la polea motriz cabeza uno por lado derecho e izquierdo y el tercero en la polea tensora, los cuales suelen presentar falla por sobrecarga en el arranque cuando la faja se encuentra cargada y en su máxima extensión que es de 1200m. Por lo que **se recomienda** revisar los niveles y/o ángulos de aceite hidráulico en los acoples hidráulicos con el objetivo de asemejar valores de amperajes de los motores eléctricos, de esta forma proteger y alargar la vida útil del motor.

## Contrastación de hipótesis

Para la prueba de hipótesis utilizamos la distribución  $t$  de Student

$$t = \frac{\bar{d} - d_0}{S_d / \sqrt{n}}$$

Donde

$\bar{d}$  : Promedio de las diferencias de las mediciones muestrales.

$S_d$  : Desviación estándar de estas diferencias.

Con  $v = n - 1$  grados de libertad

### Hipótesis de investigación

$H_0$ : La hipótesis nula de que no hay diferencia en la aplicación.

$H_1$ : la hipótesis alterna de que si hay diferencia en la aplicación.

$$H_0: \mu_D = d_0$$

$$H_1: \mu_D \neq d_0$$

La prueba a aplicar es de dos colas o bilateral.

$$\alpha = 5\% \Rightarrow \alpha = 0,05$$

De acuerdo a lo planteado tenemos para las hipótesis planteadas.

### He 1

$H_0$ : El diagnóstico de los sistemas, sub sistemas y componentes de la Concentradora Depósitos Lixiviables, no permite determinar sus funciones, fallas funcionales y modos de falla.

$H_1$ : El diagnóstico de los sistemas, sub sistemas y componentes de la Concentradora Depósitos Lixiviables, permite determinar sus funciones, fallas funcionales y modos de falla.

Para el análisis se considera los datos siguientes obtenidos.

**Tabla 37** : Diagnostico de los Sub Sistemas

DIAGNOSTICO DE LOS SUB SISTEMAS		
Caso	AMEF in	AMEF fin
Transporte	1	10
	1	12
	1	4
Trituración	1	10
	1	6
	1	5
Depositos	1	10
	1	6
	1	5

Elaborado por el equipo de trabajo.

$$t_{\alpha/2} = 0,025 = 2,306 \quad v = 9 - 1 = 8 \text{ grados de libertad.}$$

**Tabla 38** : Valores críticos de la distribución  $t$  de student

$\alpha$	0,10	0,05	0,025	0,010	0,005
$v$					
1	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657
2	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925
3	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841
4	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604
5	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032
6	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707
7	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499
8	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355
9	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250
10	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169

Elaborado por el equipo de trabajo.

Ya que, la prueba es de dos colas o bilateral, el nivel de significación  $\alpha$  se debe dividir entre 2. Esto delimita el área en tres partes, un área entre  $-2,306$  y  $2,306$ ; la cual

es el área de aceptación de la hipótesis nula y el área a la izquierda de  $-2,306$  y a la derecha de  $2,306$  que representa el área de rechazo de la hipótesis nula.

Los resultados son calculados con el software estadístico InfoStat. Que se muestran a continuación.

**Figura N° 35:** Resultados contrastación de hipótesis.

**Prueba T (muestras apareadas)**

Obs (1)	Obs (2)	N	media (dif)	DE (dif)	T	Bilateral
AMEF (Fin)	AMEF (Ini)	9	-6.56	2.92	-6.73	0.0001

Elaborado por el equipo de trabajo.

El valor de  $t$  calculado es  $-6,73$  el cual es mayor al valor  $t = -4,306$ ; por tanto, cae en la región de rechazo; con lo cual se rechaza la hipótesis nula; aceptando la alterna, es decir que el diagnóstico de los sistemas, sub sistemas y componentes de la Concentradora Depósitos Lixiviables, permite determinar sus funciones, fallas funcionales y modos de falla.

He 2:

$H_0$ : El análisis de criticidad no permite identificar los equipos críticos de la Concentradora Depósitos Lixiviables después de realizar un análisis de criticidad.

$H_1$ : El análisis de criticidad permite identificar los equipos críticos de la Concentradora Depósitos Lixiviables después de realizar un análisis de criticidad.

Para este caso consideramos la evaluación de criticidad realizada:

**Tabla 39 : Elementos Críticos**

ELEMENTOS CRÍTICOS		
Caso	AMEF in	AMEF fin
	10	8
Transporte	12	6
	4	1
Depositos	10	8
	12	6
	4	1
Trituración	10	10
	6	5
	5	4

Elaborado por el equipo de trabajo.

De acuerdo al procedimiento planteado para este caso tenemos lo siguiente:

$$t_{\alpha/2} = 0,025 = 2,571 \quad v = 9 - 1 = 8 \text{ grados de libertad}$$

**Figura N° 36:** Contrastacion de hipótesis del análisis de criticidad.

**Prueba T (muestras apareadas)**

Obs (1)	Obs (2)	N	media (dif)	DE (dif)	T	Bilateral
AMEF (Fin)	AMEF (Ini)	9	2.67	2.12	3.77	0.0055

Elaborado por el equipo de trabajo.

El valor de  $t$  calculado es 3,77 el cual es mayor al valor  $t = 2,571$ ; por tanto, cae en la región de rechazo; con lo cual se rechaza la hipótesis nula; aceptando la alterna, es decir que El análisis de criticidad permite identificar los equipos críticos de la Concentradora Depósitos Lixiviables después de realizar un análisis de criticidad.

He 3:

$H_0$ : Los parámetros característicos de la distribución de Weibull, no permite elaborar el plan de mantenimiento basado en la confiabilidad.

$H_1$ : Los parámetros característicos de la distribución de Weibull, permite elaborar el plan de mantenimiento basado en la confiabilidad.

De acuerdo a los resultados tenemos lo siguiente.

**Tabla 40** : Resultados obtenidos de confiabilidad

CONFIABILIDAD		
Caso	CONF. in	CONF. fin
1	0.22	0.91
2	0.22	0.77
3	0.22	0.64
4	0.22	0.50
5	0.22	0.36
6	0.22	0.23

Elaborado por el equipo de trabajo.

De acuerdo al procedimiento planteado para este caso tenemos lo siguiente:

$$t_{\alpha/2} = 0,025 = 2,306 \quad v = 6 - 1 = 5 \text{ grados de libertad}$$

**Figura N° 37:** Contrastación de hipótesis de la confiabilidad.

**Prueba T (muestras apareadas)**

Obs (1)	Obs (2)	N	media (dif)	DE (dif)	T	Bilateral
Conf. In	Conf. fin	6	-0.35	0.25	-3.35	0.0204

Elaborado por el equipo de trabajo.

El valor de  $t$  calculado es 3,35 el cual es mayor al valor  $t = 2,306$ ; por tanto, cae en la región de rechazo; con lo cual se rechaza la hipótesis nula; aceptando la alterna, es decir qué; los parámetros característicos de la distribución de Weibull, permite elaborar el plan de mantenimiento basado en la confiabilidad.



## V. CONCLUSIONES

- Se ha realizado la propuesta de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para la Concentradora Depósitos Lixiviables del Asiento Minero Toquepala - Ilabaya – Tacna, teniendo en cuenta la valoración de criticidad de los sub sistemas.
- Se ha realizado el diagnóstico de la situación actual de operación de Concentradora Depósitos Lixiviables del Asiento Minero Toquepala - Ilabaya - Tacna, este se realizó en campo, con estos datos se ha descrito el estado real de los equipos del Sub Sistema de Chancado (Trituración), Sub Sistema de Transporte de Mineral, Formación de Depósitos Lixiviables, equipos auxiliares y de control que se encuentra plenamente operativos.
- Se realizó el análisis de criticidad de los sub sistemas de la Concentradora Depósitos Lixiviables, que están compuestos por Sub Sistema de Chancado (Trituración), Sub Sistema de Transporte de Mineral, Formación de Depósitos Lixiviables, equipos auxiliares y de control, teniendo como resultados que el equipo muy crítico es el motor eléctrico A de la faja de transporte extensible 1300 CV 017, del que se recomienda acciones de rediseño.
- Utilizando los parámetros de la metodología de Weibull, se ha establecido el intervalo de mantenimiento preventivo aplicado cada treinta días, que se establece para el elemento crítico que es el motor eléctrico A de la faja de transporte extensible 1300 CV 017, que sería el intervalo recomendado para realizar el mantenimiento preventivo mientras se realice acciones de rediseño.



## VI. RECOMENDACIONES

- De acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación podemos recomendar que se implemente las acciones de mantenimiento preventivo y/o correctivo, así como acciones de rediseño para el elemento crítico de la Concentradora Depósitos Lixiviables del Asiento Minero Toquepala - Ilabaya - Tacna para de esta manera mejorar la disponibilidad y confiabilidad de la operación.
- Se recomienda a los egresados continuar con la línea de investigación implementando investigaciones referentes a los costos que implica la implementación del mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad, de esta manera tener una herramienta que ayude a tomar la decisión más adecuada.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ben-Daya, M., Duffuaa, S. O., Raouf, A., Knezevic, J., & Ait-Kadi, D. (2009).  
*Handbook of Maintenance Management and Engineering* (Springer Dordrecht  
Heidelberg London New York (ed.); 1°). [www.springer.com](http://www.springer.com)
- Birolini, A. (2017). Reliability Engineering. In Springer (Ed.), *Reliability Engineering*  
(8th Editio, Vol. 34, Issue 4). Springer Nature. <https://doi.org/10.1109/MS.2017.89>
- CIMAC. (2006). Manual de Operación de Planta Concentradora. CIMAC DEL SUR.
- Dhillon, B. S. (2006). Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers. In  
*Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers* (1°). CRC Press  
Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.1201/9781420006780>
- FLSmith. (2009). *Manual Curso de operación y Mantención Chancador giratorio  
traylor* ® (pp. 1–113). FLSmith.
- Garrido, S. G. (2003). *Organización y gestión integral de mantenimiento* (2003  
Reservados Santiago García Garrido (ed.); Ediciones).  
<http://www.diazdesantos.es/ediciones>
- Gulati, R. (2009). Maintenance and Best Practices Reliability. In I. Industrial Press  
(Ed.), *Reliability* (1°). Industrial Press, Inc.
- Gutiérrez, A. M. (2005). *Mantenimiento estratégico para empresas de servicios y/o  
industriales: Vol. I* (1°). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Gutiérrez, A. M. (2012). *Mantenimiento Industrial Efectivo* (COLDI (ed.); Segunda ed).  
Fuentes Litográficas Limitada.
- Klasfikasi, B. (2012). Guidance for survey based on reliability-centered maintenance  
(BKI (ed.); 1°).
- Kundu, P., Darpe, A. K., & Kulkarni, M. S. (2019). Weibull accelerated failure time  
regression model for remaining useful life prediction of bearing working under



- multiple operating conditions. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 134, 106302. <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2019.106302>
- Lazzaroni, M., Cristaldi, L., Peretto, L., Rinaldi, P., & Catelani, M. (2013). Reliability Engineering Basic Concepts and Applications in ICT. In *Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers* (1°, Vol. 53, Issue 9). Springer-Verlag Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Melani, A. H. A., Murad, C. A., Caminada Netto, A., Souza, G. F. M. de, & Nabeta, S. I. (2018). Criticality-based maintenance of a coal-fired power plant. *Energy*, 147, 767–781. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.01.048>
- Mobley, R. K. (1999). Root Cause Failure Analysis. In Butterworth-Heinemann (Ed.), *Plant engineering maintenance series* (2°). British Library. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-809272-9.00035-9>
- Mobley, R. K., & Wikoff, D. J. (2008). *Maintenance Engineering Handbook 7th Edition* (M.-H. Companies (ed.); Seventh Ed). Mc Graw Hill.
- Moubray, J. (2004). *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.: Vol. I* (I. P. Inc. (ed.); Segunda Ed). Industrial Press Inc.
- Osarenren, J. (2015). *Integrated reliability Condition Monitoring and Maintenance of equipment* (F. 33487-2742 CRC Press Taylor & Francis Group 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300 Boca Raton & © (eds.); 1°). CRC Press. <http://www.taylorandfrancis.com>
- Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, M. del P. B. (2010). *Metodología de la investigación* (S. A. D. C. . McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES (ed.); Quinta edi). McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Scheu, M. N., Trempts, L., Smolka, U., Kolios, A., & Brennan, F. (2019). A systematic



- Failure Mode Effects and Criticality Analysis for offshore wind turbine systems towards integrated condition based maintenance strategies. *Ocean Engineering*, 176(January), 118–133. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2019.02.048>
- Smith, A. M., & Hinchcliffe, G. R. (2004). The “R” in RCM—Pertinent Reliability Theory and Application. *Rcm*, 39–56. <https://doi.org/10.1016/b978-075067461-4/50006-x>
- Villaroel, S. (2016). *Herramienta Computacional Basada en un Modelo Predictivo Para la Determinación del Degaste en Revestiminetos de un Chancador Primario Tipo Giratorio*. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
- Yssaad, B., Khiat, M., & Chaker, A. (2012). *Maintenance Optimization for Equipment of Power Distribution System Based on FMECA Method*. 6.
- Yssaad, B., Khiat, M., & Chaker, A. (2014). Reliability centered maintenance optimization for power distribution systems. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 55, 108–115. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2013.08.025>
- Zabala, C. (2018). *Plan de mantenimiento preventivo basado en rcm para el chancador primario fuller, operación mantoverde* (p. 139). Universidad Técnica Federico Santa María.

## ANEXOS



**Figura N° 38:** Tolva de descarga de chancadora primaria.



**Figura N° 39:** Edificio de chancado.



**Figura N° 40:** Faja de recuperación de chancado/Faja CV-001



**Figura N° 41:** Fajas en área 1300.



**Figura N° 42:** Centro de control de motores de BT “MCC”.



**Figura N° 43:** Motor eléctrico de 4160VAC, instalado en cabeza de faja CV-019.1



**Figura N° 44:** Fajas móviles sobre orugas Spreader.