



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



**“DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO
BASADO EN LA METODOLOGÍA RCM PARA LA
CHANCADORA DE CONO MP 1000 DE LA UNIDAD MINERA
LAS BAMBAS, PROVINCIA COTABAMBAS, APURÍMAC”**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. WILIS CONDORI MITA

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

PUNO – PERÚ

2022



DEDICATORIA

Al divino creador DIOS que guía cada paso, día a día en el sendero de mi vida, su amor y su bondad no tiene fin, que me permitió sonreír ante todos mis logros que son el resultado de su ayuda.

A mi padre Santiago (+) que desde el cielo supo guiar mis pasos para que yo pueda salir a delante y soy consciente de eso.

A mi madre Isidora tu bendición a diario a lo largo de mi vida me protege y me lleva por el camino del bien. Por eso te doy mi trabajo en ofrenda por tu paciencia y amor madre mía, te amo.

A mis hermanos Dean y Arnold por los consejos y el apoyo durante mi vida universitaria.

A mi esposa Brisila la ayuda que me has brindado ha sido sumamente importante estuviste a mi lado inclusive en los momentos y situaciones más tormentosas, siempre ayudándome. No fue sencillo culminar con este proyecto, sin embargo siempre fuiste muy motivadora y esperanzadora, me decías que lo lograría perfectamente. Me ayudaste hasta donde todo sea posible, incluso más que eso muchas gracias, amor.

A mis hijos Nirvana y André que son mi orgullo y mi gran motivación y libran mi mente de todas las adversidades que se presentan, y me impulsan a cada día superarme en la carrera de ofrecerles siempre lo mejor.

WILIS CONDORI MITA.



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por las bendiciones que me da por la vida, por guiarme a lo largo de mi existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y debilidad.

A la Universidad Nacional del Altiplano Puno por acogerme dentro de sus ambientes.

A la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica por las enseñanzas impartidas y experiencia en nuestra formación como profesionales competentes e íntegros para servir a la sociedad.

Al presidente de Tesis: Dr. MATEOA ALEJANDRO SALINAS MENA y a los miembros del jurado de Tesis: M.Sc. FREDY BERNARDO COYLA APAZA, M.Sc. OMAR CHAYÑA VELASQUEZ.

Y mi agradecimiento a mi asesor M.Sc. MARCOS JOSE VILLANUEVA CORNEJO quien me ayudo al proceso de la elaboración de mi Tesis.

WILIS CONDORI MITA.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ACRÓNIMOS

RESUMEN 11

ABSTRACT..... 12

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO..... 14

1.2 DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO..... 15

1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA..... 15

1.4 HIPÓTESIS GENERAL..... 16

 1.4.1 Hipótesis específicas 16

1.5 OBJETIVOS..... 17

 1.5.1 Objetívó general 17

 1.5.2 Objetivos específicos..... 17

 1.5.3 Variables..... 17

CAPITULO II

REVISION DE LA LITERATURA

2.1 MANTENIMIENTO 18

 2.1.1 Mantenimiento Correctivo 19

 2.1.2 Mantenimiento preventivo (MP)..... 20

 2.1.3 Mantenimiento predictivo o basado en la condición..... 20

 2.1.4 Planificación de la capacidad de mantenimiento 21

 2.1.5 Rendimiento de mantenimiento..... 22



2.1.6 Confiabilidad (R).....	23
2.1.7 Requisitos y especificaciones de fiabilidad.....	25
2.1.8 Elementos clave de las especificaciones de fiabilidad	25
2.1.9 Fallas	26
2.1.10 Mantenibilidad.....	27
2.1.11 Disponibilidad	28
2.1.12 Modos de Fallo y Análisis de Efectos (FMEA)	29
2.1.13 Identificación de los modos de falla.....	30
2.1.14 Efectos de la falla	30
2.1.15 Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM).....	31
2.1.16 Análisis de criticidad	33
2.1.17 Tiempo medio entre fallos (MTTF)	35
2.1.18 Tiempo medio de reparación (MTTR)	36
2.1.19 Tiempo de inactividad y tiempo de reparación	37
2.1.20 La distribución Weibull.....	38
2.2 CHANCADORES DE CONO SERIE MP	44
2.2.1 Principales partes del equipo	46
2.2.1.1 Cuerpo	46
2.2.1.2 Eje principal	47
2.2.1.3 Conjunto Contraeje.....	47
2.2.1.4 La excéntrica	48
2.2.1.5 Sellos	49
2.2.1.6 Cojinetes (bujes).....	50
2.2.1.7 La cabeza	51
CAPITULO III	
MATERIALES Y METODOS	
3.1 MATERIALES DE LA INVESTIGACIÓN.....	53
3.1.1 Tipo de investigación	53



3.2 MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN	55
3.2.1 Diagnóstico de la Situación Actual	55
3.2.2 Identificación de los Componentes más Críticos	56
3.2.3 Intervalos de mantenimiento preventivo	67
CAPITULO IV	
RESULTADOS Y DISCUSION	
4.1 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL	70
4.2 COMPONENTES CRÍTICOS DE LA CHANCADORA DE CONO MP1000.	71
4.2.1 Análisis de modos y efectos de falla (FMEA)	71
4.2.2 Análisis de Criticidad	79
4.3. INTERVALOS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	81
V. CONCLUSIONES	94
VI. RECOMENDACIONES	95
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96
ANEXOS	102

ÁREA: Mecánica

TEMA: Mantenimiento

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 26 de julio del 2022



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Principios básicos de mantenimiento.	22
Figura N° 2: Elementos de la disponibilidad del producto.....	23
Figura N° 3: Tareas de desarrollo de un programa de RCM.....	33
Figura N° 4: Análisis de criticidad	35
Figura N° 5: Gráfica de la función de densidad de probabilidad de fallo para $\lambda = 1$ y tres valores diferentes para el parámetro b.	40
Figura N° 6: Gráfica de la función de fiabilidad para $\lambda = 1$ y tres valores diferentes para el parámetro b.	40
Figura N° 7: Gráfico de la función de la tasa de fallo para $\theta = 1$ y tres valores diferentes para el parámetro b. Cuando $b = 1$	41
Figura N° 8: Papel gráfico para la representación de Weibull	42
Figura N° 9: Parámetro de forma beta de Weibull	43
Figura N° 10: Chancador de cono MP	45
Figura N° 11: Conjunto Estructura Principal	46
Figura N° 12: Eje Principal	47
Figura N° 13: Conjunto de la Caja de Contraeje	48
Figura N° 14: Conjunto de la Excéntrica	49
Figura N° 15: Disposición de sellos “T” y “U”	50
Figura N° 16: Buje de la Excéntrica.....	51
Figura N° 17: Conjunto de la Cabeza.....	52
Figura N° 18: Proceso para el FMECA y priorización.....	58
Figura N° 19: Árbol Lógico	62
Figura N° 20: Grafica Weibull Cojinetes	85
Figura N° 21: Grafica Confiabilidad Cojinetes	87



Figura N° 22: Grafica Infiabilidad Cojinetes	87
Figura N° 23: Grafica Weibull Sellos	90
Figura N° 24: Grafica Confiabilidad Sellos	92
Figura N° 24: Grafica Confiabilidad Sellos	93



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Factor de estado	56
Tabla N° 2: Hoja de trabajo de información.....	59
Tabla N° 3: Hoja de decisión.....	60
Tabla N° 4: Clasificación Gravedad (S)	65
Tabla N° 5: Clasificación Ocurrencia (O)	65
Tabla N° 6: Clasificación Gravedad (D)	66
Tabla N° 7: Clasificación Criticidad.....	66
Tabla N° 8: Acción de mantenimiento	67
Tabla N° 9: Diagnostico	70
Tabla N° 10: FMEA Cuerpo.....	72
Tabla N° 11: FMEA Eje Principal y Secundario.....	73
Tabla N° 12: FMEA Envuelta o Coraza	74
Tabla N° 13: FMEA Cuba, Contrapeso, Bujes, Cojinetes.....	75
Tabla N° 14: FMEA Enfriador, Sellos.	76
Tabla N° 15: FMEA Lubricación	77
Tabla N° 16: FMEA Ajuste Hidráulico	78
Tabla N° 17: Análisis de criticidad.....	80
Tabla N° 18: Acciones de mantenimiento	81
Tabla N° 19: Registro de fallas de cojinetes.....	82
Tabla N° 20: Rango promedio de fallas de cojinetes.	83
Tabla N° 21: Parámetros X, Y de fallas de cojinetes.	84
Tabla N° 22: Registro de fallas del sistema de sellos.....	88
Tabla N° 23: Rango promedio de fallas del sistema de sellos.....	89
Tabla N° 24: Parámetros X, Y de fallas de sistemas de sellos.	90



ACRÓNIMOS

γ	Parámetro de posición
η	Parámetro de escala o característica de vida útil
β	Parámetro de forma
RCM	Mantenimiento basado en la confiabilidad
R (t).	Confiabilidad
F (t).	Infiabilidad
MTTB	Tiempo Promedio entre fallas
MTTR	Tiempo medio de reparación
MTTPM	Mantenimiento preventivo
Pieza	Elemento físico no divisible de un mecanismo.
Equipo	Conjunto de componentes interconectados de una instalación.
Hr.	Horas
FMEA	Análisis de modos y efectos de fallos
FMECA	Análisis de modos y efectos de fallos y su criticidad



RESUMEN

Una falla de los componentes y subcomponentes de un equipo en funcionamiento causa dos problemas principales; que es el daño de los componentes y subcomponentes, y la falta de producción debido a que la planta está fuera de servicio. Además, las fallas imprevistas de los componentes aumentan la incontrolabilidad del sistema, lo que empeora la producción. El mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), es un proceso para desarrollar programas de mantenimiento preventivo. El método RCM proporciona una estrategia utilizando la experiencia operativa de una manera más sistemática, se desarrolla un sistema de soporte de decisiones analizando el Modo de Falla, Efecto y Análisis de Criticidad (AMEF). En esta investigación el objetivo es diseñar un plan de mantenimiento preventivo utilizando la metodología RCM, para la Chancadora de cono MP 1000 de la unidad Minera las BAMBAS, el mismo que se realizó en base al método del análisis de criticidad de los diferentes componentes que constituyen la planta de chancado, con lo que se pretende mejorar su confiabilidad y disponibilidad. La planta está ubicada en la Unidad Minera las Bambas que se ubica entre los distritos de Challhuahuacho, provincia de Cotabambas, en la Región Apurímac, a una altitud que varía entre los 3.800 y 4.600 m.s.n.m., a aproximadamente 75 km al suroeste de la ciudad de Cusco.

Palabras clave: AMEF (Análisis de modos y efectos de falla), confiabilidad, criticidad, disponibilidad, falla, mantenimiento.



ABSTRACT

A failure of the components and subcomponents of an operating equipment causes two main problems; which is the damage of the components and subcomponents, and the lack of production due to the plant being out of service. In addition, unforeseen component failures increase the uncontrollability of the system, which worsens production. Reliability-centered maintenance (RCM) is a process for developing preventive maintenance programs. The RCM method provides a strategy using operational experience in a more systematic way, a decision support system is developed by analyzing the Failure Mode, Effect and Criticality Analysis (FMEA). In this research the objective is to design a preventive maintenance plan using the RCM methodology for the MP 1000 cone crusher of the Las BAMBAS Mining Unit, which was carried out based on the criticality analysis method of the different components that make up the crushing plant, in order to improve its reliability and availability. The plant is located in the Las Bambas Mining Unit, between the districts of Challhuahuacho, province of Cotabambas, in the Apurimac Region, at an altitude ranging between 3,800 and 4,600 m.a.s.l., approximately 75 km southwest of the city of Cusco.

Key words: AMEF (Failure Mode and Effects Analysis), availability, criticality, failure, maintenance, reliability.



CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

El mantenimiento actual de la planta de chancado está caracterizado por la búsqueda continua de tareas que permitan eliminar o disminuir la ocurrencia de fallas imprevistas y/o reparaciones (paradas forzosas), es decir se encuentra en una etapa muy preliminar de mantenimientos preventivos en su gran mayoría, los trabajos que se ejecutan, son sólo reparaciones menores o locativas tendientes a recuperar la operatividad de los equipos, dado que no existe un cronograma o un plan programado de los mantenimientos preventivos necesarios para los diversos equipos; razón por la cual el estado de los equipos se ve afectado en su mayoría. Al mismo tiempo estas fallas tienen consecuencias de seguridad y medioambientales. Para reducir y/o eliminar estas fallas, es imprescindible diseñar un plan de mantenimiento para mejorar la producción de la planta. El estudio planteado, se justifica en cuanto la falta de mantenimiento preventivo planificado en la Chancadora de Cono MP 1000 ocasiona constantes paradas ocasionando pérdidas importantes y sobre todo afectando la calidad de servicio de la planta.

Aplicando una filosofía de mantenimiento basada en la confiabilidad, combinada con controles estadísticos nos proporcionan información para obtener variables de comportamiento de los equipos que permiten diseñar planes de mantenimiento preventivo incrementando la disponibilidad de la máquina chancadora.

Las frecuencias de mantenimiento que se realizara serán de acuerdo al plan producto del análisis de las fallas funcionales. La aplicación de un sistema organizado de mantenimiento nos permite reducir las paradas no programadas de la planta de chancado siendo esto un importante aporte.



1.1. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El estudio planteado, se justifica en cuanto la falta de mantenimiento preventivo planificado en la maquina ocasiona constantes interrupciones de la producción que prestan esta maquinaria ocasionando pérdidas importantes de tiempo y dinero lo que ocasiona retraso en la planificación de los trabajos programados.

El mantenimiento actual de la planta de chancado está caracterizado por la búsqueda continua de tareas que permitan eliminar o disminuir la ocurrencia de fallas imprevistas y/o reparaciones (paradas forzosas), es decir se encuentra en una etapa muy preliminar de mantenimientos preventivos en su gran mayoría, los trabajos que se ejecutan, son sólo reparaciones menores o locativas tendientes a recuperar la operatividad de los equipos, dado que no existe un cronograma o un plan programado de los mantenimientos preventivos necesarios para los diversos equipos; razón por la cual el estado de los equipos se ve afectado en su mayoría. Al mismo tiempo estas fallas tienen consecuencias de seguridad y medioambientales. Para reducir y/o eliminar estas fallas, es imprescindible diseñar un plan de mantenimiento para mejorar la producción de la planta. El estudio planteado, se justifica en cuanto la falta de mantenimiento preventivo planificado en la Chancadora de Cono MP 1000 ocasiona constantes paradas ocasionando pérdidas importantes y sobre todo afectando la calidad de servicio de la planta.

Aplicando una filosofía de mantenimiento basada en la confiabilidad, combinada con controles estadísticos nos proporcionan información para obtener variables de comportamiento de los equipos que permiten diseñar planes de mantenimiento preventivo incrementando la disponibilidad de la máquina chancadora.

Las frecuencias de mantenimiento que se realizara serán de acuerdo al plan



producto del análisis de las fallas funcionales que posteriormente se analizara. La aplicación de un sistema organizado de mantenimiento nos permitirá reducir las paradas no programadas de la planta de chancado siendo esto un importante aporte.

1.2. DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO

Con el desarrollo de esta investigación se desea diseñar un plan de mantenimiento para los sistemas críticos de la Chancadora de cono MP 1000 de la unidad Minera las BAMBAS con el fin de disminuir las paradas no programadas. Analizando y evaluando desde 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 en el área de molienda, específicamente la Chancadora de cono MP 1000.

1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La planificación del mantenimiento preventivo de los sistemas técnicos es una tarea desafiante. Debe establecerse un equilibrio entre la frecuencia y la extensión del mantenimiento, por un lado, y los costes, por otro (Selvik & Aven, 2011). El mantenimiento preventivo se introduce para evitar la ocurrencia de fallas del sistema y reducir las posibles consecuencias de fallas, pero el mantenimiento podría en algunos casos también introducir fallas. Ambos aspectos contrarrestados son importantes para la planificación del mantenimiento preventivo. El mantenimiento preventivo convencional (MP) se programa periódicamente sobre la base de experiencia la base de la experiencia del técnico y, a menudo, tiene el mismo intervalo de tiempo.(Zhou et al., 2007). Se han desarrollado diferentes herramientas para apoyar la planificación de mantenimiento preventivo y esta investigación aborda una de ellas, la metodología de



Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM). RCM es una metodología ampliamente aceptada que ha estado disponible en la industria durante más de 30 años y ha demostrado ofrecer una estrategia eficiente para la optimización del mantenimiento preventivo.(Selvik & Aven, 2011). El mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), utiliza un enfoque de análisis de Modos y efectos de falla y criticidad (AMEF), que permite el procesamiento de cada análisis individual de un subcomponente del sistema. Este análisis identifica los diversos modos de falla que afectan a cada parte, junto con las causas y consecuencias, de todo el sistema.

1.4. HIPÓTESIS GENERAL

Aplicando el plan de mantenimiento basado en la metodología RCM para la Chancadora de cono MP 1000 de la unidad Minera las BAMBAS, se mejora la confiabilidad y disponibilidad del equipo.

1.4.1. Hipótesis específicas

- El diagnóstico de los sistemas, sub sistemas y componentes de la chancadora MP 1000, permite determinar sus funciones, fallas funcionales y modos de falla.
- Con el registro de los componentes más críticos mediante la metodología AMEF podemos aplicar el plan de mantenimiento preventivo.
- Con los parámetros característicos de la metodología RCM, haciendo uso del historial de fallas podemos obtener los tiempos medios de fallas.



1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo general

Diseñar el plan de Mantenimiento Preventivo basado en la metodología RCM para la Chancadora de cono MP 1000 de la unidad Minera las Bambas.

1.5.2. Objetivos específicos

- Determinar la situación actual de los sistemas, sub sistemas y componentes de la Chancadora de Cono MP 1000, aplicando la metodología AMEF.
- Identificar los componentes críticos de los sistemas y subsistemas de la Chancadora de Cono MP1000.
- Definir los intervalos de mantenimiento preventivo mediante los parámetros característicos de la metodología RCM haciendo uso del historial de fallas.

1.5.3. Variables

Independientes:

Sub sistemas críticos.

Dependientes:

Intervalos de Mantenimiento Preventivo.



CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. MANTENIMIENTO

Hasta la década de los 80 la industria de la mayoría de los países occidentales tenía un objetivo bien definido: obtener el máximo de rentabilidad para una inversión dada. Sin embargo, con la penetración de la industria oriental en el mercado occidental, el consumidor pasó a ser considerado un elemento importante en las adquisiciones, o sea, exigir la calidad de los productos y los servicios suministrados, y esta demanda hizo que las empresas considerasen este factor, “calidad”, como una necesidad para mantenerse competitivas, especialmente en el mercado internacional. Esto puede ser atribuido las siguientes responsabilidades:

- Reducción del tiempo de paralización de los equipos que afectan la operación;
- Reparación, en tiempo oportuno, de los daños que reducen el potencial de ejecución de los servicios;
- Garantía de funcionamiento de las instalaciones, de manera que los productos o servicios satisfagan criterios establecidos por el control de la calidad y estándares preestablecidos.(Tavares, 1996).

El mantenimiento define todas aquellas acciones realizadas sobre el elemento para conservarlo o devolverlo a un estado establecido. El mantenimiento incluye, por lo tanto, el mantenimiento preventivo, realizadas a intervalos programados, de acuerdo con los procedimientos prescritos para reducir la probabilidad de fallos o degradación de la funcionalidad del artículo, y el mantenimiento correctivo, iniciado tras la detección de un



fallo (defecto o falla) y destinado a llevar el artículo a un estado en el que pueda volver a realizar la función requerida. (Birolini, 2017).

La función principal de mantenimiento es maximizar la disponibilidad de la requerida para la producción de bienes y servicios, al preservar el valor de las instalaciones, para minimizar el deterioro de los equipos; lográndolo con el menor costo posible y a largo plazo. 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 para el personal que lo utiliza y lo mantiene y con una mínima degradación del medio ambiente. Al conseguir todos estos puntos se está ante una buena gestión integral de mantenimiento.(Gutiérrez, 2005).

El mantenimiento se ocupa de mantener un activo en buenas condiciones de funcionamiento para que pueda utilizarse a su plena capacidad productiva. La función de mantenimiento incluye tanto la conservación como las reparaciones. El diccionario define el mantenimiento como "el trabajo de mantener algo en buenas condiciones. Una definición más amplia es: Mantener en condiciones "diseñadas" o aceptables; Evitar la pérdida de capacidades funcionales parciales o totales.(Gulati, 2009)

2.1.1. 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. La ventaja de este enfoque es que funciona bien si las paradas de los equipos no afectan a la producción y si los costes de mano de obra y material no importan.(Osarenren, 2015).



2.1.2. 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).

El MP es una estrategia de mantenimiento de equipos 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. La sustitución de elementos de servicio (por ejemplo, filtros), la adición o el cambio de aceites y correas, y la lubricación de las piezas son algunos ejemplos de las tareas de MP (Gulati, 2009).

2.1.3. Mantenimiento predictivo o basado en la condición

Esta metodología 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 la vibración, la temperatura y la degradación de la lubricación excesiva, o la observación de cualquier otra tendencia nociva que se produzca a lo largo del tiempo. Cuando la condición llega a un nivel inaceptable predeterminado, el equipo se para para reparar o sustituir los componentes dañados del equipo para evitar que se produzca un fallo más costoso. (Osarenren, 2015).

El Mantenimiento Basado en la Condición (CBM), también conocido como Mantenimiento Predictivo, intenta evaluar la condición de un bien realizando la vigilancia periódica o continua de los activos. Este enfoque es el siguiente nivel de mantenimiento basado en el tiempo de ejecución. El objetivo final 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. El componente "predictivo" se deriva del objetivo de



predecir la tendencia de la condición del activo. 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).

2.1.4. Planificación de la capacidad de mantenimiento

La planificación de la capacidad de mantenimiento determina los recursos necesarios para el mantenimiento incluyendo las técnicas, la administración, el equipo, las herramientas y el espacio necesarios para ejecutar la carga de mantenimiento de manera eficiente y cumplir los objetivos del mantenimiento. Los aspectos críticos de la capacidad de mantenimiento son los números y las habilidades de los profesionales necesarios para ejecutar la carga de mantenimiento. Es difícil determinar el número exacto de varios tipos de profesionales, ya que la carga de mantenimiento es incierto. Por lo tanto, las previsiones precisas de la demanda futura de trabajos de mantenimiento son esenciales para determinar la capacidad de mantenimiento. Con el fin de tener una mejor utilización de la mano de obra, las organizaciones tienden a reducir el número de profesionales por debajo de su necesidad esperada. Es probable que esto resulte en un trabajo de mantenimiento incompleto. Este atraso también puede ser eliminado cuando la carga de mantenimiento es menor que la capacidad. Hacer estimaciones a largo plazo es una de las áreas en la planificación de la capacidad de mantenimiento que es a la vez crítica y no bien desarrollado en la práctica. (Ben-Daya et al., 2009).

Figura N° 1: Principios básicos de mantenimiento.

Temas Técnicos	Recursos Humanos	Campo Económico
<ul style="list-style-type: none">•Servicios•Productos•Calidad de los productos•Métodos de trabajos de mantenimiento•Manejo de materiales óptimo•Control de todas las actividades de mantenimiento.	<ul style="list-style-type: none">•Función de relaciones internas del personal•Función de relaciones externas•Función de la organización del mantenimiento	<ul style="list-style-type: none">•Estructura de mantenimiento.•Economía en la gerencia de mantenimiento.•Economía frente a la producción.

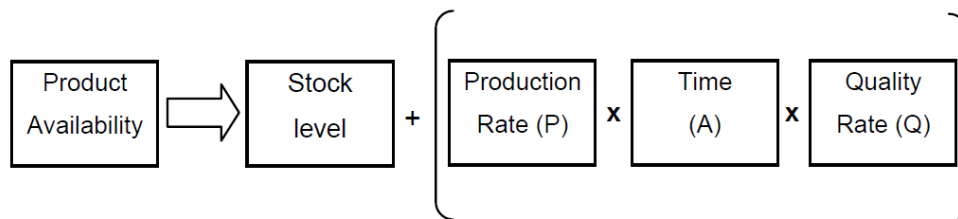
Fuente: (Gutiérrez, 2005)

2.1.5. Rendimiento de mantenimiento

La productividad del mantenimiento tiene por objeto reducir al mínimo el costo de mantenimiento en relación con la medición de los resultados/rendimiento del mantenimiento general y la maximización del rendimiento de mantenimiento general. Algunas de las medidas de mantenimiento son la disponibilidad, el tiempo medio entre fallos (MTTF), frecuencia de fallos/interrupciones, tiempo medio de reparación (MTTR) y tasa de producción. Los indicadores de productividad de mantenimiento miden el uso de los recursos, como; mano de obra, materiales, contratistas, herramientas y equipo. Estos componentes también forman varios indicadores de costos, como la utilización y la eficiencia de la energía humana, el material y orden de trabajo. El control de la productividad del mantenimiento (MP) asegura que se mantengan los niveles de mantenimiento presupuestados. La productividad del mantenimiento se ocupa tanto de la eficacia y la eficiencia del mantenimiento. Para la industria de procesos, el tiempo de inactividad de las máquinas en el taller es uno de las principales cuestiones para la productividad del mantenimiento. A diferencia de las actividades operacionales, Las actividades de mantenimiento son en su mayoría de naturaleza no repetitiva. Por lo tanto, todo el personal de mantenimiento y los gerentes se enfrentan a nuevos problemas con

cada avería o tiempo de inactividad de la planta o sistema, que necesita niveles de múltiples habilidades para resolver las cuestiones conflictivas de objetivos múltiples. Para la industria de procesos o manufactura, la disponibilidad del producto se indica en la figura 2. (Ben-Daya et al., 2009).

Figura N° 2: Elementos de la disponibilidad del producto



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

2.1.6. Confiabilidad (R)

La confiabilidad es una característica del elemento, expresada por la probabilidad de que cumpla su función requerida en determinadas condiciones durante un intervalo de tiempo establecido. Se designa generalmente por R. La fiabilidad especifica 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).

La confiabilidad puede definirse de varias maneras:

- La capacidad de un dispositivo o sistema para funcionar según lo diseñado
- La resistencia al fallo de un producto o sistema
- La capacidad de un producto o sistema para realizar una función requerida en las condiciones establecidas durante un período de tiempo determinado



- La probabilidad de que una unidad funcional cumpla su función durante un intervalo determinado en las condiciones establecidas.(Osarenren, 2015).

La importancia de la fiabilidad y la aplicación de las mejores prácticas de mantenimiento se examinan al más alto nivel de la organización. La mayoría de las organizaciones hablan de RCM/Fiabilidad, pero se trata como el "programa del mes" y pierde su énfasis con el tiempo. Cambiar una cultura existente de " funcionamiento hasta el fallo" o de poco/ningún programa de MP a una cultura de fiabilidad sostenible requiere muchos años y apoyo de gestión y recursos constantes.

En una cultura de la confiabilidad, la prevención de los fallos se convierte en un énfasis en todos los niveles de la organización. Toda la fuerza de trabajo se centra en la confiabilidad de los activos. La fuerza de trabajo - operadores, mantenedores, ingenieros piensan y actúan para asegurar:

- Que los activos estén disponibles para producir cuando se necesiten
- Los activos se mantienen a un costo razonable
- Plan de PM optimizado (basado en RCM/CBM)
- Un efectivo plan de mantenimiento de la instalación - 80/20 principal aplicado para priorizar el trabajo. La mayoría de los trabajos se planifican y programan (Gulati, 2009).

La función de ingeniería de confiabilidad se encarga de la gestión de riesgos y de la gestión de los activos del ciclo de vida. Es un recurso estratégico que tiene un único punto de responsabilidad para proporcionar la estrategia comercial que asegura la capacidad de producción, la calidad del producto y el mejor costo del ciclo de vida. Su misión es proporcionar el liderazgo proactivo, la dirección, la responsabilidad de un solo punto y la experiencia técnica necesarios para lograr y mantener una fiabilidad, capacidad



de mantenimiento, vida útil y ciclo de vida óptimos el costo de los activos de una instalación, así como de sus procesos.(Mobley & Wikoff, 2008)

2.1.7. Requisitos y especificaciones de fiabilidad

Para desarrollar un activo confiable, debe haber buenos requisitos y especificaciones de confiabilidad. Estas especificaciones deben abordar la mayoría, si no todas, las condiciones en las que el activo tiene que funcionar, incluido el tiempo de la misión, las limitaciones de uso y el entorno operativo. En muchos casos, la elaboración de esas especificaciones requerirá una descripción detallada de la forma en que se espera que el activo funcione desde el punto de vista de la fiabilidad. El uso de una sola medida, como el MTBF, como única medida de fiabilidad es inadecuado. Aún peor es la especificación de que un activo "no será peor" que el modelo existente o anterior. Una especificación de fiabilidad ambigua deja mucho margen para el error, lo que resulta en requisitos de diseño mal entendido y un activo poco fiable en el campo.

2.1.8. Elementos clave de las especificaciones de fiabilidad

- Probabilidad de rendimiento exitoso
- Función (misión) a realizar
- Tiempo de uso (tiempo de misión)
- Condiciones de funcionamiento
- Medio Ambiente
- Habilidad de los operadores / mantenedores

El RCM ayuda a determinar cómo los activos pueden seguir haciendo lo que su que los usuarios requieren en determinados contextos operativos. El análisis del RCM proporciona un marco para analizar las funciones y los posibles fallos de activos como aviones, líneas de fabricación, compresores o turbinas, sistemas de



telecomunicaciones, etc. A su vez, el mantenimiento programado proporcione niveles aceptables de operatividad aceptables se pueden desarrollar niveles de riesgo, de manera eficiente y rentable. El RCM se desarrolló en la industria de la aviación comercial a finales de la década de 1960 para optimizar las actividades de mantenimiento y operaciones.(Gulati, 2009)

2.1.9. Fallas

Se produce un fallo cuando el elemento deja de cumplir su función requerida. Tan simple como esta definición es, puede llegar a ser difícil aplicarla a elementos complejos. Los fallos deben clasificarse según el modo, la causa, el efecto y el mecanismo:

1. Modo: El modo de un fallo es el síntoma (efecto local) por el que se observa un fallo; por ejemplo, fallos abiertos, cortos, de deriva, funcionales para la electrónica, y fractura frágil, fluencia, pandeo, fatiga para los componentes o piezas mecánicas.
2. Causa: La causa de un fallo puede ser intrínseca, debido a las debilidades del elemento y / o desgaste, o extrínseca, debido a errores, mal uso o mal manejo durante el diseño, producción o uso. Las causas extrínsecas suelen dar lugar a fallos sistemáticos, que son deterministas y deben considerarse como defectos (defectos dinámicos en la calidad del software). Los defectos están presentes en $t = 0$, los fallos aparecen siempre a tiempo, incluso si el tiempo hasta el fallo es corto como puede serlo con los fallos sistemáticos o tempranos.
3. Efecto: El efecto (consecuencia) de un fallo puede ser diferente si en el que se considera que el elemento en sí mismo o en un nivel superior. Una clasificación habitual es: no relevante, menor, importante, crítico (que afecta a la seguridad).



Ya que una falla también puede causar otras fallas, Es importante distinguir entre el fallo primario y el secundario.

4. Mecanismo: El mecanismo de falla es el proceso físico, químico o de otro tipo que conduce a un fallo. (Biolini, 2017).

Cuando un equipo o una instalación fallan, lo hace generalmente por uno de estos cuatro motivos:

1. Por un fallo en el material.
2. Por un error humano del personal de operación.
3. Por un error humano del personal de mantenimiento.
4. Condiciones externas anómalas.

En ocasiones, confluyen en una avería más de una de estas causas, lo que complica en cierto modo el estudio del fallo, pues a veces es complicado determinar cuál fue la causa principal y cuáles tuvieron una influencia menor en el desarrollo de la avería.(Garrido, 2003)

2.1.10. Mantenibilidad

La mantenibilidad es una característica del elemento, expresada por la probabilidad de que se realizará un mantenimiento preventivo o una reparación del elemento dentro de un plazo establecido intervalo de tiempo para determinados procedimientos y recursos (nivel de destreza del personal, recambio de piezas, instalaciones de prueba, etc.). Desde un punto de vista cualitativo, la mantenibilidad también puede se definirá como la capacidad del artículo para ser retenido o restaurado en un estado específico.



La media del tiempo de reparación se denota por el MTTR (tiempo medio de reparación (restauración)), el de un mantenimiento preventivo por el MTTPM. El mantenimiento tiene que ser incorporado en equipo y sistemas complejos durante el diseño y fabricación. Debido al creciente costo de mantenimiento, la capacidad de mantenimiento ha crecido en importancia. Sin embargo, la sostenibilidad lograda en el campo depende en gran medida de los recursos disponibles para el mantenimiento y de la correcta la instalación del equipo o sistema, es decir, en el apoyo logístico y la accesibilidad. (Biolini, 2017).

Al igual que para la confiabilidad, la capacidad de mantenimiento debe ser incorporada en el equipo y los sistemas durante la fase de diseño y construcción. Esto, en particular, porque una mejora de la mantenibilidad a menudo requiere cambios importantes en la disposición o construcción del elemento o sistema considerado, y la mantenibilidad no puede predecirse fácilmente mediante el análisis o métodos. Para ello, la obtención de una capacidad de mantenimiento prescrita en equipos complejos y requiere por lo general la planificación y la realización de un concepto de mantenimiento. (Biolini, 2017).

2.1.11. Disponibilidad

La probabilidad de que el equipo funcione satisfactoriamente en el momento en que sea requerido después del comienzo de su operación, cuando se usa bajo condiciones estables, donde el tiempo total considerado incluye el tiempo de operación, tiempo activo de reparación, tiempo inactivo, tiempo en mantenimiento preventivo, tiempo administrativo, tiempo de funcionamiento sin producir y tiempo logístico se define como disponibilidad (Gutiérrez, 2005).



2.1.12. Modos de Fallo y Análisis de Efectos (FMEA)

El Análisis de Modos y Efectos de Fallo (FMEA) 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 y, cuando proceda, su efecto en la seguridad del personal, sobre el medio ambiente, así como sobre el sistema. Durante la avanzada fase de diseño, esta técnica de análisis puede llamar la atención sobre eventuales debilidades en el sistema, de tal manera que sugiera las modificaciones necesarias para mejorar la fiabilidad y, más en general, la disponibilidad. Este análisis puede incluir la previsión y medidas preventivas que deben adoptarse durante las fases iniciales del desarrollo de un nuevo producto. A menudo, la FMEA, concentrándose en estos aspectos, permite saber si el componente examinado, por ejemplo, satisface los requisitos de seguridad. En este punto, lo mejor es establecer la forma más apropiada de discutir los modos de falla en lugar de la falla en sí misma. Para el modo de falla, pretendemos la manera en el que un elemento falla. Para el efecto de falla pretendemos que la consecuencia de un modo de falla (medible en un sentido cuantitativo o cualitativo) de un componente o parte de un sistema en cuanto a su funcionamiento, función o estado del elemento (Lazzaroni et al., 2013).

Este método es ampliamente utilizado para analizar los sistemas de ingeniería con respecto a la confiabilidad y puede describirse simplemente como un enfoque para realizar el análisis de cada modo de falla del sistema para examinar sus efectos en el sistema total. Cuando se amplía el FMEA 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 (FMECA). (Dhillon, 2006).

Siete pasos son necesarios para llevar a cabo la FMEA. 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).

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).

2.1.13. Identificación de los modos de falla

Un modo de falla es la manera en que se observa una falla. Generalmente describe la forma en que el fallo y su impacto en el equipo o sistema. Todo el equipo o componente relacionado con se deben identificar las causas de los modos de fallo. El fallo se asumirá por un posible modo de fallo a la vez, con la excepción de los "fallos ocultos" en los que un segundo fallo debe ocurrir para exponer el "fallo oculto". Un modo de fallo en un elemento o componente del equipo también podría ser la causa de un fallo del sistema. Dado que un modo de fallo puede tener más de una causa, se identificarán todas las posibles causas independientes para cada modo de fallo.(KLASIFIKASI, 2012)

2.1.14. 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 (KLASIFIKASI, 2012).

2.1.15. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)

Es un proceso sistemático y disciplinado para establecer las estrategias de mantenimiento para un activo/sistema en su funcionamiento situación, para garantizar la seguridad, el cumplimiento de la misión y el funcionamiento del sistema. El proceso define los límites del sistema e identifica las funciones, fallas funcionales, y probables modos de falla. Desarrolla la identificación lógica de las causas y los efectos (consecuencias) y fallas funcionales para llegar a un sistema eficiente y efectivo es una estrategia de gestión de activos para reducir la probabilidad de fracaso.(Gulati, 2009).

El mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad reemplaza estas tareas sin valor por actividades de mantenimiento específicas que evitan las fallas y prolongan la vida útil de los activos de la instalación. El desarrollo de un programa de mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad sigue los diagramas lógicos que se muestran en la Figura 3. Los diagramas lógicos son la base de una técnica de evaluación aplicada a cada



elemento funcionalmente significativo (FSI) utilizando todos los datos técnicos disponibles, así como el "conocimiento propio" del personal de la planta. Principalmente, las evaluaciones se basan en los fallos funcionales de los elementos y sus causas de fallo. En el sitio web desarrollo de un programa de mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad se basa en lo siguiente:(Mobley & Wikoff, 2008).

Un proceso de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) identifica sistemáticamente todas las funciones y fallas funcionales de los activos. También identifica todas las causas probables de esos fallos. A continuación, procede a identificar los efectos de estos probables modos de falla e identificar de qué manera esos efectos importan. Una vez que ha reunido esta información, el proceso de RCM selecciona entonces la gestión de activos más adecuada política. RCM considera todas las opciones de gestión de activos: tarea en condiciones, tarea de restauración programada, tarea de descarte programada, tarea de búsqueda de fallas y cambio único (al diseño del hardware, procedimientos operativos, capacitación del personal, u otros aspectos del activo fuera del estricto mundo del mantenimiento). Esta consideración es diferente a otros procesos de desarrollo del mantenimiento. (Mobley & Wikoff, 2008).

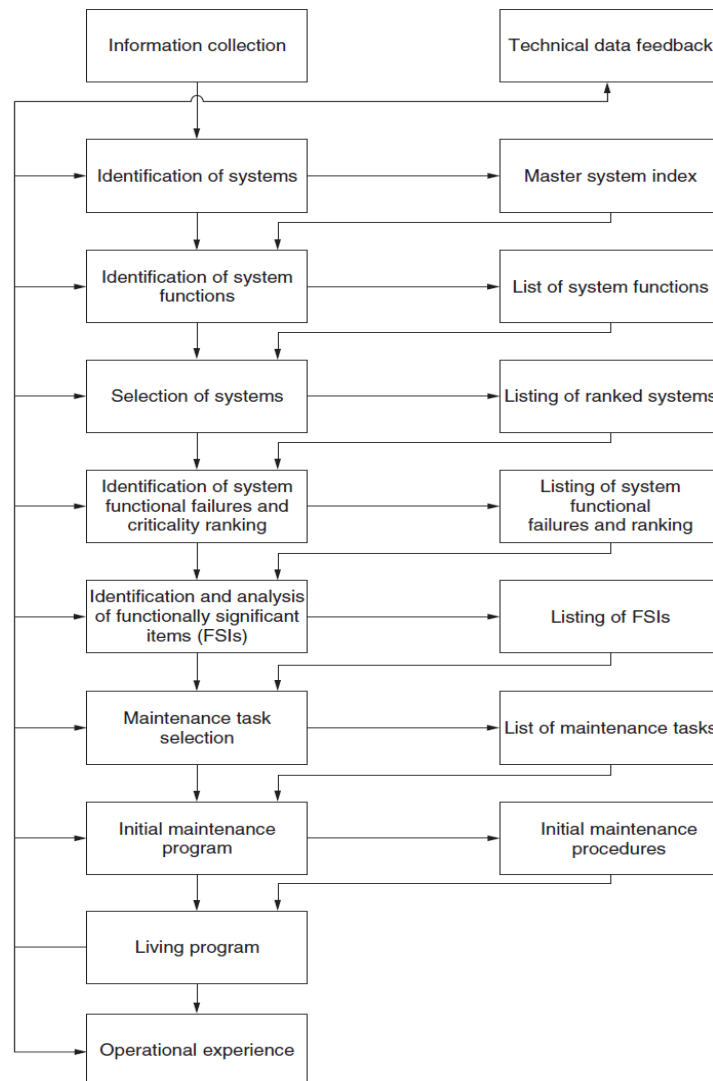
El equipo del RCM estará típicamente formado por personas con experiencia y conocimientos técnicos en las siguientes disciplinas:

- i. Mantenimiento e inspección de maquinaria
- ii. Mecanismos de degradación y fallo de la maquinaria
- iii. Fiabilidad
- iv. Operaciones
- v. Análisis de riesgos
- vi. Peligros del proceso de producción (si procede)

vii. Seguridad y salud

viii. Materiales de construcción.

Figura N° 3: Tareas de desarrollo de un programa de RCM.



Fuente: (Mobley & Wikoff, 2008).

2.1.16. Análisis de criticidad

El análisis de la criticidad se utiliza para clasificar el riesgo asociado a cada modo de fallo identificado durante la FMECA evaluando la severidad del efecto final y la probabilidad de fracaso basado en la mejor los datos disponibles. Esto permite la



comparación de cada modo de fallo con todos los demás modos de fallo con respecto a riesgo.

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.(KLASIFIKASI, 2012)

No todos los equipos tienen la misma importancia en una planta industrial. Es un hecho que unos equipos son más importantes que otros. 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, dejando una pequeña porción del reparto a los equipos que menos pueden influir en los resultados de la empresa. Cuando tratamos de hacer esta diferenciación, estamos realizando el Análisis de Criticidad de los equipos de la planta. Comencemos distinguiendo una serie de niveles de importancia o criticidad.

- a. Equipos críticos. Son aquellos equipos 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. Como mucho, supondrán una pequeña incomodidad, algún pequeño cambio de escasa trascendencia, o un pequeño coste adicional.(Garrido, 2003)

Figura N° 4: Análisis de criticidad

Tipo de equipo	Seguridad y medio ambiente	Producción	Calidad	Mantenimiento
A CRÍTICO	Puede originar accidente muy grave.	Su parada afecta al Plan de Producción.	Es clave para la calidad del producto.	Alto coste de reparación en caso de avería.
	Necesita revisiones periódicas frecuentes (mensuales).		Es el causante de un alto porcentaje de rechazos.	Averías muy frecuentes.
	Ha producido accidentes en el pasado.			Consumo una parte importante de los recursos de mantenimiento (mano de obra y/o materiales).
B IMPORTANTE	Necesita revisiones periódicas (anuales).	Afecta a la producción, pero es recuperable (no llega a afectar a clientes o al Plan de Producción).	Afecta a la calidad, pero habitualmente no es problemático.	Coste Medio en Mantenimiento.
	Puede ocasionar un accidente grave, pero las posibilidades son remotas.			
C PRESCINDIBLE	Poca influencia en seguridad.	Poca influencia en producción.	No afecta a la calidad.	Bajo coste de Mantenimiento.

Fuente: (Garrido, 2003).

2.1.17. Tiempo medio entre fallos (MTTF)

La función de fiabilidad exponencial es una función continua de densidad de probabilidad con respecto al tiempo, por lo que existe un valor esperado para la función que puede considerarse como el valor temporal medio de toda la función. Como la función de fiabilidad es en realidad una función de densidad de fallos, el tiempo medio de la función es el tiempo medio para que se produzca un fallo y se conoce como tiempo medio hasta los fallos o MTTF. (Chowdhury, 2009).

$$MTTF = \int_0^{\infty} e^{-\lambda r} dr = 1/\lambda \quad (1)$$

Este tiempo medio entre fallos resulta ser el recíproco de la tasa de fallos λ . Este resultado es válido sólo para las funciones de fiabilidad exponencial. La probabilidad de fallo de $t = 0$ a $MTTF$ es:

$$Q(MTTF) = 1 - e^{-1} = 0.632 \quad (2)$$

Por lo tanto, aunque el $MTTF$ es el tiempo medio para que se produzca un fallo, la probabilidad de fallo en el primer intervalo $MTTF$ es del 63,2% y no del 50%. Para tasas de fallo bajas, el $MTTF$ podría ser muy largo, superando con creces la vida útil normal del sistema o del propio equipo.

Esto es posible porque el $MTTF$ es el tiempo promedio que transcurre antes de que ocurra un fallo siempre que el equipo esté en el período de vida útil, de modo que si el período de vida útil es largo, uno puede llegar a ver una falla, de lo contrario el equipo puede entrar en el desgaste antes de que ocurra un fallo, y el $MTTF$ ya no se aplicará. (Chowdhury, 2009).

2.1.18. Tiempo medio de reparación (MTTR)

Cuando un equipo o un sistema fallan, está fuera de servicio. Hasta que no sea reparado o sustituido por otra unidad, su servicio no estará disponible para el usuario. Incluso si las unidades de repuesto están disponibles, llevará algún tiempo hacer el reemplazo. El tiempo requerido para restaurar el servicio, ya sea por reparación o reemplazo, puede ser llamado "tiempo de reparación".

Aunque las fallas son generalmente vistas como eventos instantáneos mientras que las reparaciones son procesos continuos durante el tiempo de reparación, a efectos de análisis, los dos son análogos. Un fallo lleva a una unidad de un estado "ascendente" a un estado "descendente" y toma en promedio el $MTTF$ para que tenga lugar. Una reparación



lleva una unidad de un estado "descendente" a un estado "ascendente", y toma en promedio, el tiempo medio de reparación (MTTR) para hacerlo. La tasa de fallos es la recíproco de tiempo medio entre fallos; así que de manera similar, una tasa de reparación r igual a se puede definir la reciprocidad del tiempo de reparación. Además, así como la tasa de fallos constante lleva a una probabilidad de fallo exponencial, la tasa de reparación constante lleva a una función de reparación exponencial. Lo que significa que la probabilidad de que el equipo sea reparado en un tiempo t está dada por una función exponencial aunque el tiempo de reparación a largo plazo es una constante. Esto es bastante razonable ya que diferentes tipos de fallos requieren diferentes tiempos de reparación.(Chowdhury, 2009).

2.1.19. Tiempo de inactividad y tiempo de reparación

Ahora es necesario introducir el tiempo medio de inactividad y el tiempo medio de reparación (MDT), MTTR). A menudo hay confusión entre los dos y es importante entender la diferencia. El tiempo de inactividad, o interrupción, es el período durante el cual el equipo está en estado de falla. Normalmente se evita una definición formal, debido a las dificultades de generalizar sobre un parámetro que puede consistir en diferentes elementos según el sistema y su funcionamiento. Considere los siguientes ejemplos, que ponen de relieve el problema:

1. Un sistema que no esté en uso continuo puede desarrollar una falla mientras está inactivo. La condición de la falla puede no ser evidente hasta que el sistema sea necesario para su funcionamiento. Es tiempo de inactividad para ser medido a partir de la incidencia de la falla, del inicio de una condición de alarma, o de la en el momento en que el sistema habría sido necesario.



2. En algunos casos puede ser económico o esencial dejar el equipo en un estado defectuoso hasta un momento determinado o hasta que se hayan producido varios fallos similares.
3. La reparación puede haber sido completada pero puede no ser seguro restaurar el sistema a su condición operativa inmediatamente. Alternativamente, debido a un perfil operativo cíclico puede ser necesario para retrasar.

Como se desprende de lo anterior, es necesario definir el tiempo de inactividad (MDT) que se requiere para cada sistema en determinadas condiciones de funcionamiento y disposiciones de mantenimiento.

El MTTR y el MDT, aunque se superponen, no son idénticos. El tiempo de inactividad puede comenzar antes de la reparación como en el ejemplo (1). La reparación suele implicar un elemento de comprobación o ajuste, que puede extenderse más allá de la parada. La definición y el uso de estos términos dependerán de si se está considerando la disponibilidad o los recursos de mantenimiento. (Smith, 2011).

2.1.20. La distribución Weibull

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.

La distribución de Weibull se utiliza como modelo para describir la mortalidad infantil y es una función de tres parámetros: γ (vida mínima o el período dentro del cual la falla no se produce), θ (parámetro de escala destinado a la vida característica) y β (forma a parámetro). Si $\gamma = 0$, podemos escribir las siguientes relaciones:

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

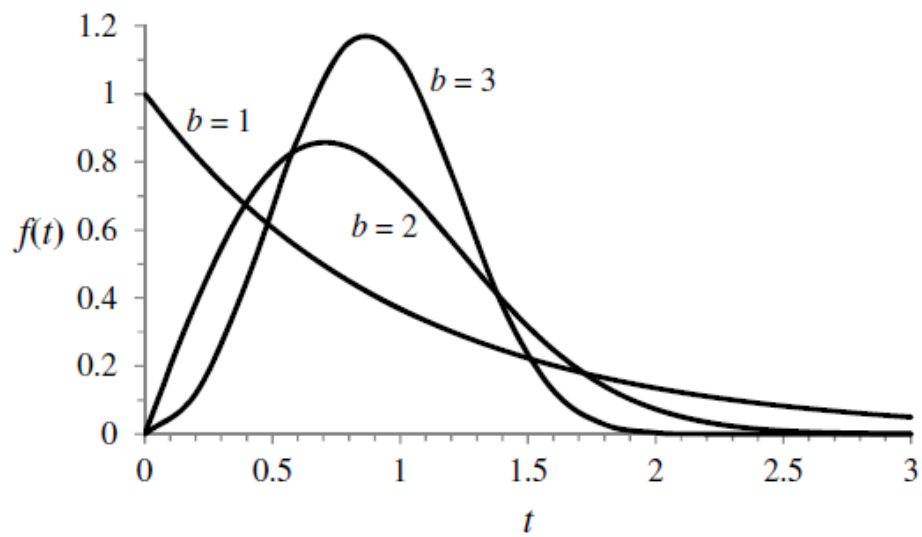
$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^b} \quad (4)$$

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

Esa distribución es particularmente significativa para el estudio de la fiabilidad de los sistemas, ya que permite describir los eventos de fallo de los sistemas caracterizados por una tasa de fallo variable en el tiempo. De hecho, para $b > 1$ ($b < 1$), la distribución de Weibull describe un sistema con una tasa creciente (decreciente). Para $b = 1$, la distribución de Weibull coincide con la ley exponencial. Por lo tanto, en tales circunstancias, la tasa de fallos es constante ($\theta = 1/\lambda$).

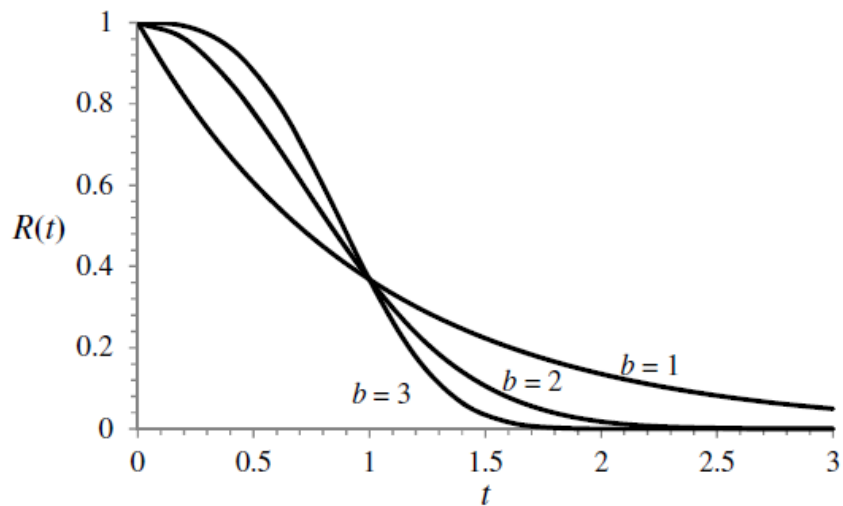
La función característica de la distribución de Weibull se representa en las siguientes figuras (Lazzaroni et al., 2013)

Figura N° 5: Gráfica de la función de densidad de probabilidad de fallo para $\lambda = 1$ y tres valores diferentes para el parámetro b .



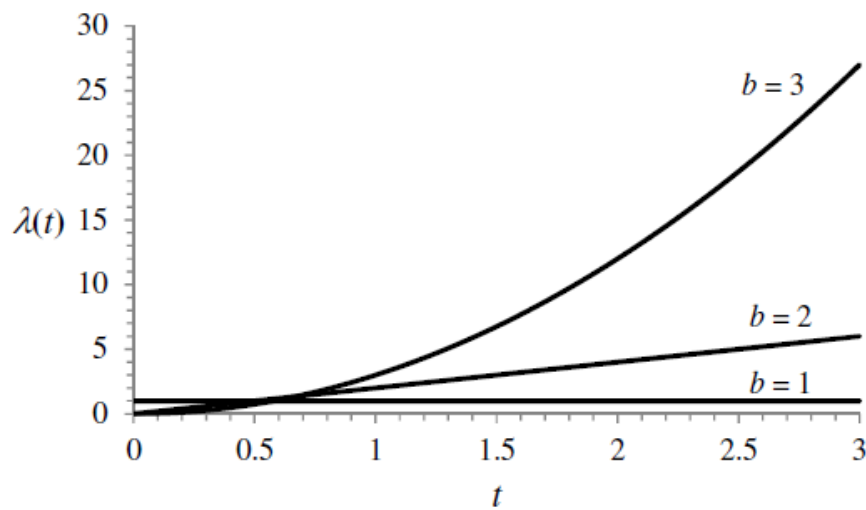
Fuente:(Lazzaroni et al., 2013).

Figura N° 6: Gráfica de la función de fiabilidad para $\lambda = 1$ y tres valores diferentes para el parámetro b .



Fuente:(Lazzaroni et al., 2013).

Figura N° 7: Gráfico de la función de la tasa de fallo para $\theta = 1$ y tres valores diferentes para el parámetro b . Cuando $b = 1$.



Fuente:(Lazzaroni et al., 2013).

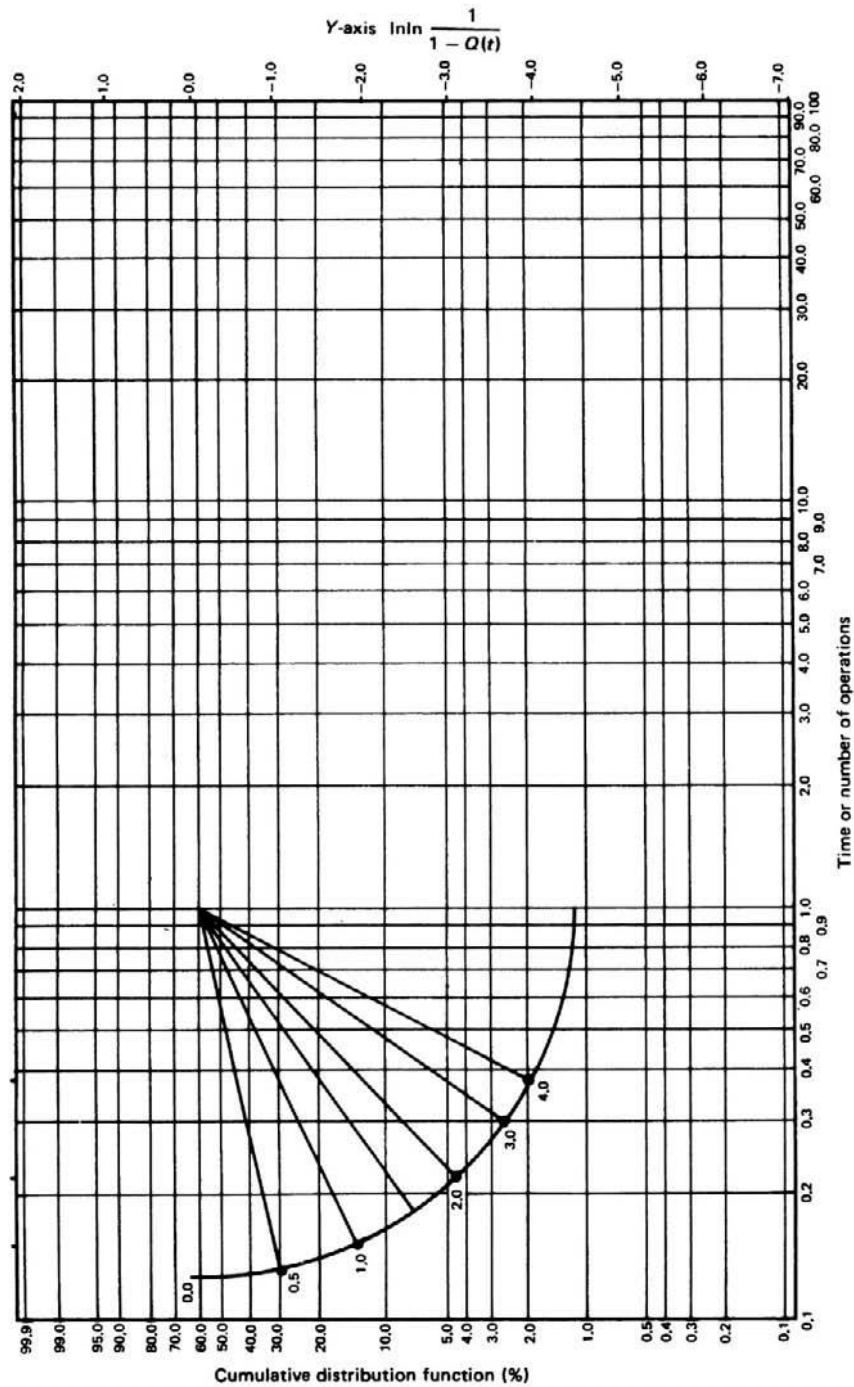
La técnica de Weibull asume, inicialmente, que la distribución de los fallos, aunque no aleatorio, es al menos capaz de ser modelado por una simple distribución de dos parámetros.(Smith, 2011).

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^b} \quad (6)$$

La técnica consiste en llevar a cabo un ejercicio de ajuste de la curva (modelización de la probabilidad), en primer lugar para establecer que los datos se ajustarán a este supuesto y en segundo lugar para estimar los valores de los dos parámetros.

Tradicionalmente, esto se hacía mediante métodos de ajuste de la curva "lápiz y papel. (Smith, 2011).

Figura N° 8: Papel gráfico para la representación de Weibull



Fuente: (Smith, 2011).

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

Gamma - Parámetro de posición (γ): 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.

Eta - Parámetro de escala o característica de vida útil (η): su valor es determinante para fijar la vida útil del producto o del sistema.

Beta - Parámetro de forma (β), refleja la dispersión de los datos y determina la forma que toma la distribución. (Gutiérrez, 2005).

Figura N° 9: Parámetro de forma beta de Weibull

Valor β	Característica
$0 < \beta < 1$	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 representa a intervalos de mantenimiento preventivo. Su densidad de probabilidad funciona con respecto a los tiempos de mantenimiento preventivo (Dhillon, 2006).

En la práctica, se observa que la distribución puede describirse normalmente de la siguiente manera distribución de tres parámetros conocida como la distribución Weibull, llamada así por el profesor Waloddi Weibull:(Smith, 2011)

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (7)$$



De hecho, en la mayoría de los casos, un modelo de dos parámetros resulta suficiente para describir los datos. Por lo tanto: (Dhillon, 2006).

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (8)$$

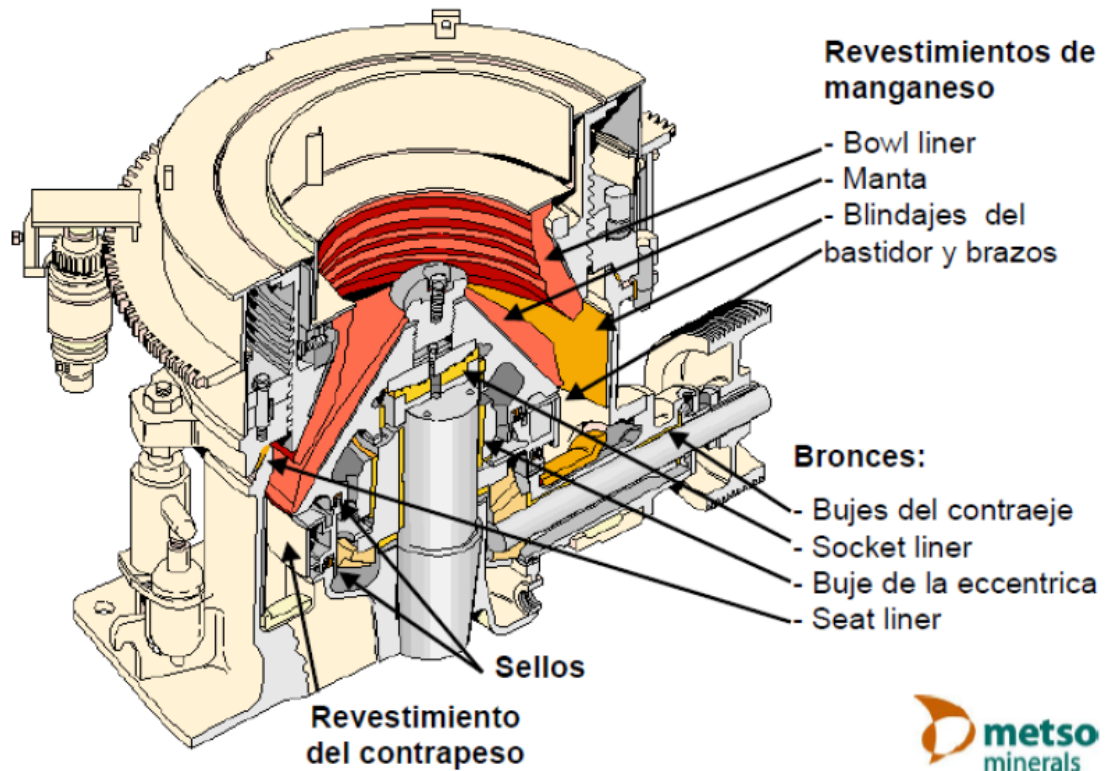
2.2. CHANCADORES DE CONO SERIE MP

Reduce el tamaño del mineral proveniente de mina mediante fuerzas de compresión a un tamaño adecuado o requerido. La función de la molienda es reducir las partículas del material a un tamaño adecuado para liberar el mineral valioso, favoreciendo la separación en la flotación. La molienda es la etapa controlante del proceso; porque el producto obtenido repercute significativamente en la flotación, remolienda y espesadores de relaves.

Las capacidades indicadas del chancador de cono se desarrollan para su uso como una herramienta de aplicación para el uso adecuado de las capacidades del chancador MP. Se aplican a material con un peso de 1600 Kg por metro cuadrado (100 libras por pie cuadrado).

El chancador es un componente del circuito. Como tal, su rendimiento depende en parte de la selección y la operación adecuadas de los alimentadores, los transportadores, las mallas, las estructuras de soporte, los motores eléctricos, los componentes de la transmisión y los depósitos de compensación.

Figura N° 10: Chancador de cono MP



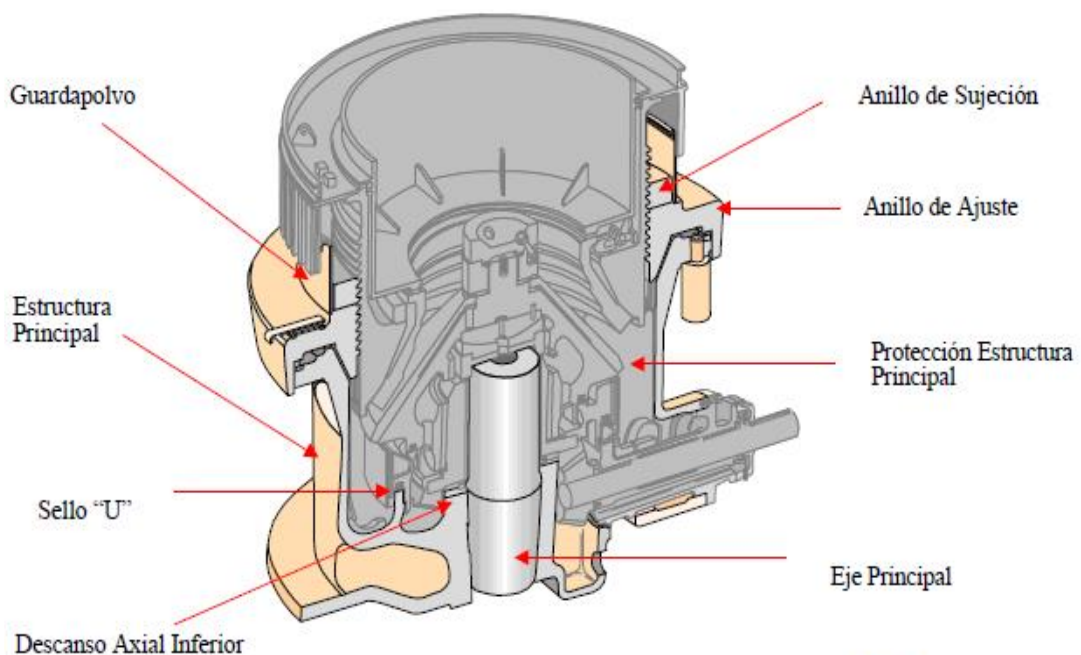
Fuente: Manual Metso.

2.2.1. Principales partes del equipo

2.2.1.1. Cuerpo

El cuerpo principal fundido tiene un diseño resistente para soportar cargas máximas de chancado y está fabricado según especificaciones precisas de tratamiento metalúrgico y de calor. Los materiales de acero de gran resistencia garantizan durabilidad en condiciones de chancado difíciles. Consta de tres estructuras de acero fundido que contienen: la estructura inferior, el mecanismo de accionamiento y la excéntrica, mientras que en la estructura intermedia y superior forman una cámara estacionaria que está revestida con pedazos de acero resistentes al desgaste llamados cóncavos.

Figura N° 11: Conjunto Estructura Principal

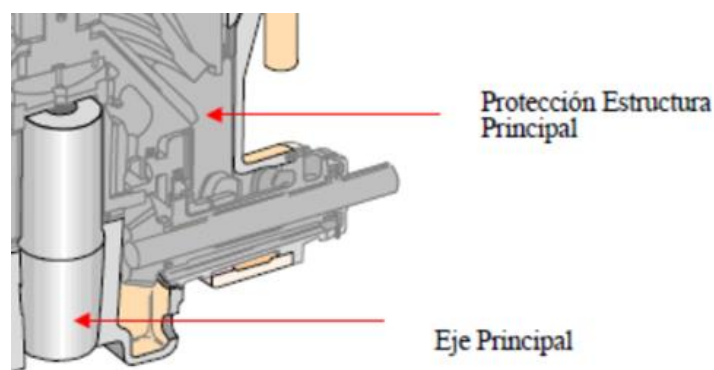


Fuente: Manual Metso.

2.2.1.2. Eje principal

Se aloja en la parte inferior con la excéntrica y en la parte superior con el spider. El eje principal está equipado con un núcleo y un manto, que conforman la parte móvil fundamental para realizar la trituración del mineral con un movimiento oscilatorio realizado por la excéntrica. (Ver Fig. 2.9)

Figura N° 12: Eje Principal



Fuente: Manual Metso.

El eje principal tipo pedestal se mantiene de manera rígida en el diámetro interno cónico en el centro del cuerpo del chancador. El eje principal está forjado en acero aleado de gran resistencia. El eje principal proporciona la distribución de aceite a varios cojinetes de alto rendimiento.

2.2.1.3. Conjunto Contraeje

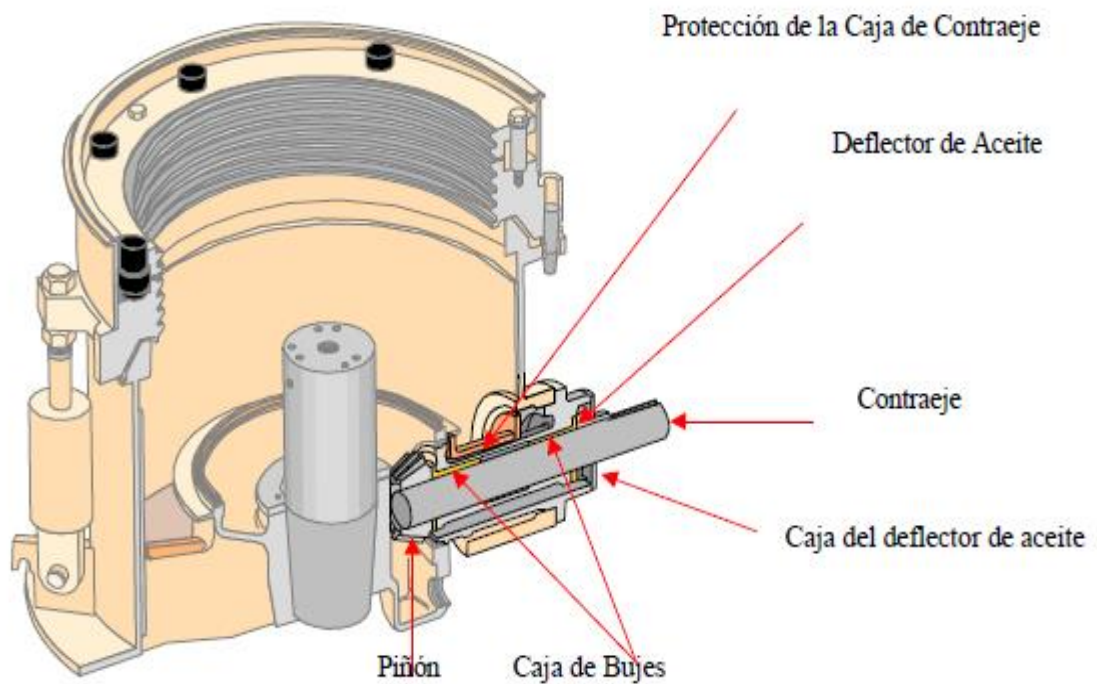
El conjunto del contraeje está apoyado sobre bujes de bronce. El conjunto completo de la caja del contraeje se puede retirar para facilitar la mantención.

Los revestimientos y las protecciones de desgaste resistentes a la abrasión proporcionan más protección a áreas expuestas al paso de material por el chancador. Los

brazos y las protecciones de la caja del contraeje están fundidos en una aleación resistente al desgaste Ni-hard de alto contenido de cromo.

Los revestimientos del cuerpo principal están apernados al bastidor principal para facilitar su reemplazo.

Figura N° 13: Conjunto de la Caja de Contraeje

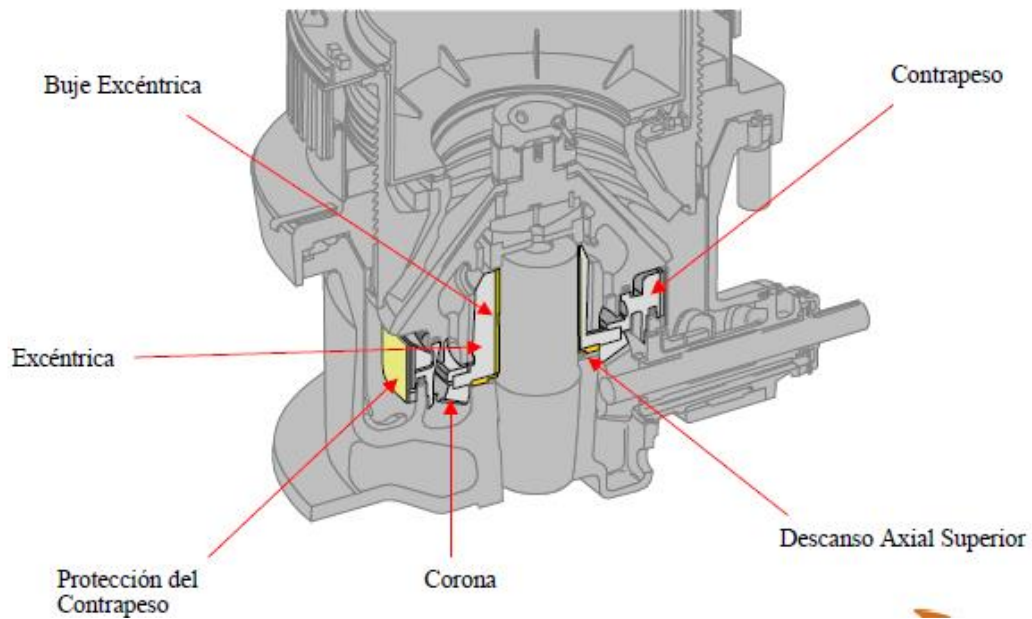


Fuente: Manual Metso

2.2.1.4. La excéntrica

El conjunto excéntrico está diseñado con un contrapeso para reducir las fuerzas en desequilibrio creadas por la rotación excéntrica y la cabeza giratoria. La alta excentricidad del conjunto excéntrico proporciona un rendimiento total máximo y una eficiencia de chancado para aplicaciones de chancado fino y grueso.

Figura N° 14: Conjunto de la Excéntrica



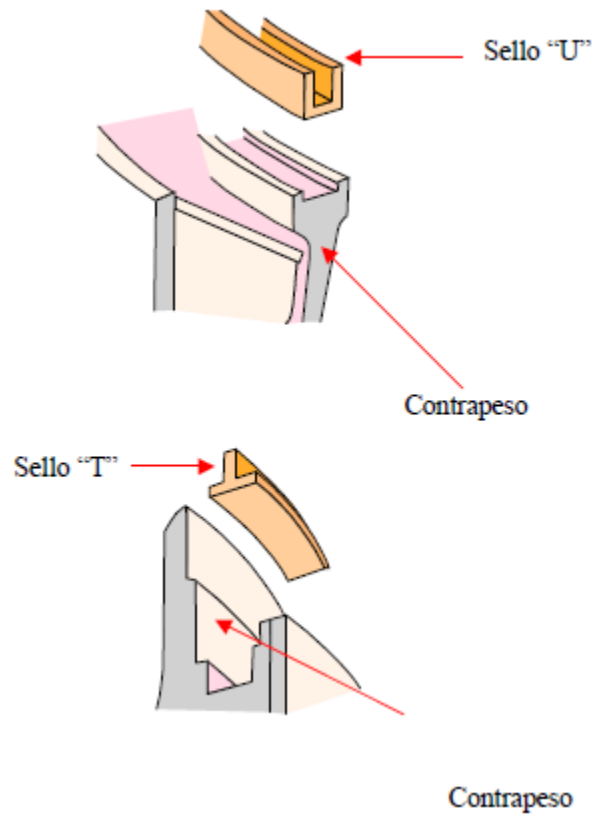
Fuente: Manual Metso.

2.2.1.5. Sellos

Los sellos en U y T laberínticos sin contacto y de alto rendimiento proporcionan un método de larga vida útil y sin mantención para evitar que el polvo entre al chancador. El flujo de aire positivo evita la contaminación del aceite lubricante.

Grandes superficies con capacidad de carga se ubican sobre los sellos en U y T, lo que garantiza que el aceite recién filtrado permanezca libre de contaminación.

Figura N° 15: Disposición de sellos “T” y “U”

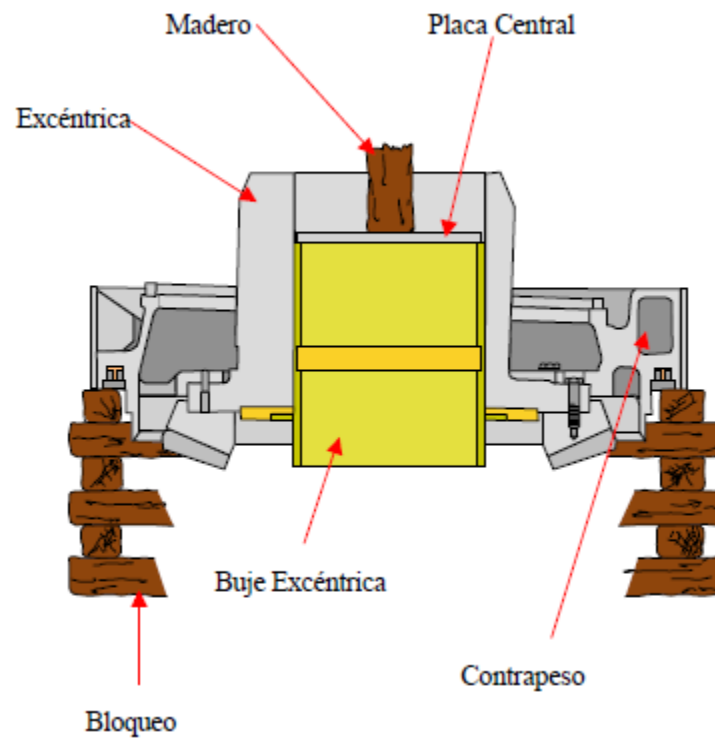


Fuente: Manual Metso.

2.2.1.6. Cojinetes (bujes).

Los cojinetes del descanso principal son bujes de bronce de bajo costo y duraderos capaces de soportar altas cargas de chancado y condiciones de operación difíciles. Las fuerzas de gran magnitud se sustentan con lubricación hidrodinámica de película completa. El buje inferior de la cabeza tiene bridas para lograr una retención positiva y una fácil mantención.

Figura N° 16: Buje de la Excéntrica



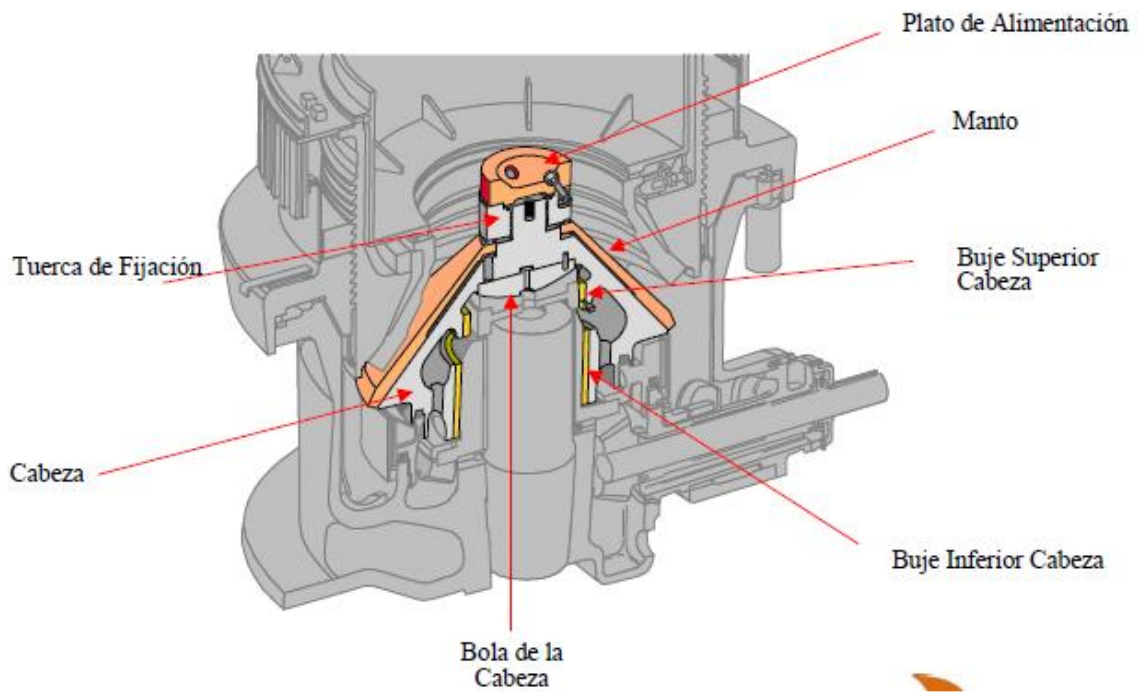
Fuente: Manual Metso.

2.2.1.7. La cabeza

La cabeza está fundida con un material de gran resistencia y ha demostrado soportar condiciones difíciles de metal fragmentado a las que comúnmente se encuentran en aplicaciones de chancado de gran fuerza. La bola de la cabeza proporciona un soporte esférico capaz de sostener grandes cargas de chancado. La bola de la cabeza está diseñada para facilitar su reemplazo. El revestimiento del socket de bronce proporciona un máximo soporte del cabezal y múltiples estrías para el aceite para una lubricación completa de la bola de la cabeza giratoria. El buje superior de la cabeza tiene un diseño único para reducir el giro de la cabeza cuando funciona sin carga de chancado. La contratuerca de autoapriete retiene el manto durante las grandes fuerzas de la cavidad. Las múltiples placas de

alimentación proporcionan una superficie de desgaste reemplazable que distribuye la alimentación entrante.

Figura N° 17: Conjunto de la Cabeza



Fuente: Manual Metso.



CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES DE LA INVESTIGACIÓN

Como material para la presente investigación tenemos al sistema de chancado primario del cual se eligió a un equipo crítico que es la chancadora primaria Chancadora de Cono MP 1000 de la unidad Minera las Bambas la cual está ubicada en la provincia Cotabambas, Región de Apurímac; el mismo que se realizara en base al método del análisis de criticidad de los diferentes componentes ya que es el primer equipo en contacto para el inicio de la obtención del mineral.

Para la aplicación de la metodología de análisis de criticidad, se analizan los subsistemas que conforma la maquina en mención y que son principalmente los siguientes: El cuerpo, la excéntrica, el eje principal, el Spider, Unidad hidráulica, sistemas de sello de polvo y el sistema de accionamiento.

3.1.1. Tipo de investigación

Para la presente investigación se aplicó la técnica de observación documental a través de documentos estadísticos como instrumentos. Se trata de una investigación descriptiva correlacional.

- **Investigación descriptiva**

En un estudio descriptivo se seleccionan una serie de cuestiones, conceptos o variables y se mide cada una de ellas independientemente de las otras, con el fin, precisamente, de describirlas. Estos estudios buscan especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro



fenómeno. Los estudios descriptivos sirven para analizar cómo es y se manifiesta un fenómeno y sus componentes (Sampieri et al., 2010).

- **Investigación correlacional**

Tiene como finalidad medir el grado de relación que eventualmente pueda existir entre dos o más conceptos o variables, en los mismos sujetos. Más concretamente, buscan establecer si hay o no una correlación, de qué tipo es y cuál es su grado o intensidad. En otros términos, los estudios correlacionales pretenden ver cómo se relacionan o vinculan diversos fenómenos entre sí. (Sampieri et al., 2010).

En ese sentido las variables son:

Independientes:

Sub sistemas críticos.

Dependientes:

Intervalos de Mantenimiento Preventivo.

Cuyo modelo matemático está dado por la distribución de Weibull

- **Técnicas de recolección de datos**

La técnica que se utilizó en la presente investigación es documental.

La técnica documental se utiliza para la construcción del marco conceptual, del mismo modo nos ayudó a recolectar datos de archivos y documentos. “El investigador debe decidir los tipos específicos de datos cuantitativos y cualitativos que habrán de ser recolectados, esto se prefigura y plasma en la propuesta, en el reporte se debe especificar la clase de datos que fueron recopilados y a través de qué medios o herramientas” (Sampieri et al., 2010)

Para la recolección de información se utiliza las técnicas:



- Observaciones directas.
- Hojas de reporte e inspección.

En la técnica empírica se utilizará para recolectar datos del mismo objeto de estudio a través de la observación y medición. Todos ellos permiten extraer datos de la operación, empleando fichas de registro, reportes.

- **Técnicas de análisis de datos**

Es el presente trabajo de investigación, se tuvo en cuenta la población, muestra y el análisis de variables. El procedimiento consideró también los resultados de la investigación y se realizó el análisis estadístico de dichos resultados considerando los objetivos planteados.

La información necesaria para el trabajo de Investigación se recopila en bibliotecas especializadas, Internet, consulta a ingenieros especialistas (Mecánicos-Electricistas, Mecánicos, Industriales) instituciones, principalmente de la Universidad Nacional del Altiplano de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica del área de mantenimiento.

3.2. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1. Diagnóstico de la Situación Actual

Para realizar el diagnóstico de la situación actual se realiza a través del análisis del factor de estado con lo cual podremos determinar el estado real del equipo.

Se considera como primordial realizar un análisis del estado actual del equipo mediante el factor de estado para determinar. Para ello se ha formulado la siguiente tabla de valoración:

Tabla N° 1: Factor de estado

FACTOR DE ESTADO (F.E)				
CALIFICACIÓN	CONDICIÓN OPERATIVA	NIVEL DE USO	MANTENIMIENTO	ESTADO
1	operativo	Uso normal	No necesita	Vigente
1.5	operativo	Uso moderado	No necesita	Escasa Obsolescencia
2	operativo	Mucho uso	Necesita reparaciones normales o rutinarias	Moderada Obsolescencia
2.5	operativo	Mucho uso	Necesita reparaciones	Obsolescencia

Fuente: (LLAMBA, 2014)

3.2.2. Identificación de los Componentes más Críticos

3.2.2.1. Análisis de modos y efectos de falla

- **Fallas funcionales**

Un fallo funcional se define como la incapacidad de cualquier activo físico de cumplir con un estándar de rendimiento deseado. Las personas de operaciones e ingeniería que trabajan juntas deben establecer estándares de rendimiento. Las diferentes fallas funcionales, que pueden aplicarse a una sola función, incluyen la pérdida total y parcial de la función.

- **Modos de falla**

El proceso de anticipar, prevenir, detectar o La corrección de fallos se aplican a los modos de fallo individuales, es decir el mantenimiento se gestiona a nivel del modo de fallo. Causas fundamentales de los fallos son el desgaste normal, la suciedad, la inadecuada lubricación, desmontaje, montaje o funcionamiento incorrecto, materiales de proceso o de embalaje incorrectos. Sólo



el fallo que razonablemente podría esperarse que ocurrieran en el contexto en cuestión, debe ser registrado. Modos de fallo para los componentes de reserva son diferentes a los del servicio regular componentes.

- **Efectos de la falla**

La descripción de lo que realmente ocurre cuando se produce cada modo de fallo se conoce como efecto del fallo.

- **Consecuencias del fallo**

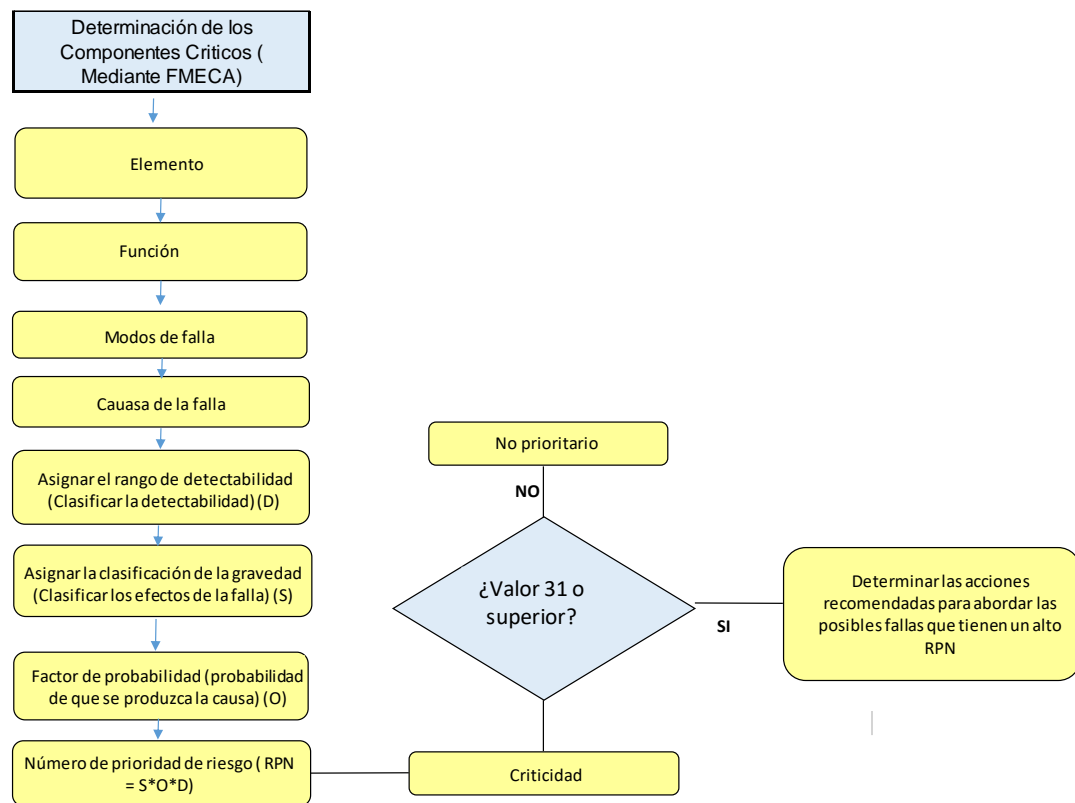
La prevención del fallo tiene mucho más que ver con evitar o reduciendo las consecuencias del fallo que tiene que ver con evitar los fallos en sí mismos. Una tarea preventiva es que vale la pena hacer si se enfrenta con éxito a las consecuencias del fallo, que se pretende evitar. El proceso de RCM agrupa las consecuencias del fallo en cuatro categorías y lo hace así que en dos etapas. La primera etapa separa las funciones ocultas de funciones evidentes. Una función oculta es aquella cuyo problema no se hará evidente para la operación de la unidad bajo circunstancias normales. La siguiente etapa es clasificar las fallas evidentes en tres categorías más en orden descendente de importancia de la siguiente manera.(Melani et al., 2018)

1. Seguridad y consecuencias medioambientales
2. Consecuencias operacionales
3. Consecuencias no operacionales

El proceso del RCM primero considera las implicaciones de seguridad de cada modo de fallo. Un modo de fallo tiene consecuencias a la seguridad si causa una pérdida de función u otros daños, que podría herir o matar a alguien. El proceso de

RCM siempre evalúa las consecuencias de seguridad al nivel más conservador. Un modo de falla tiene consecuencias ambientales si causa una pérdida de función u otros daños que podrían llevar a la infracción de cualquier norma o regulación ambiental conocida. Si un modo de fallo puede afectar a la seguridad o al medio ambiente, el proceso del RCM estipula que hay que tratar de evitarlo. Para los modos de falla, que tienen consecuencias de seguridad, una tarea preventiva sólo vale la pena si reduce el riesgo de fallo a un nivel razonablemente bajo. (Scheu et al., 2019).

Figura N° 18: Proceso para el FMECA y priorización



Fuente:(Scheu et al., 2019)

3.2.2.2. Hoja de trabajo de decisiones del RCM

La hoja de trabajo de decisiones del RCM es como se muestra en la tabla

2. Se utiliza para registrar las respuestas a las preguntas del diagrama de decisiones que



cubren los aspectos de consecuencias del fallo, tareas preventivas y acciones por defecto y a la luz de estas respuestas, para registrar:

- ¿Qué mantenimiento de rutina (si es que hay alguno) se va a hacer, cómo a menudo se debe hacer y por quién?
- ¿Qué fallos son lo suficientemente graves como para justificar un rediseño?
- Casos en los que se ha tomado la decisión de permitir que los fallos ocurran

Para el análisis de modo y efectos de falla (FMEA), planteada por Moubray. La que está constituida por la hoja de información y la hoja de decisión, las que se detallan brevemente a continuación:

Tabla N° 2: Hoja de trabajo de información

HOJA DE INFORMACIÓN EPIME UNA PUNO	SISTEMA/ACTIVO	N°	RECOPIADO POR	FECHA
	SUB-SISTEMA/COMPONENTE	REF.		
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL (Pérdida de función)	MODO DE FALLA (Causa de la Falla)	EFECTO DE LA FALLA (Que sucede cuando ocurre la falla)	

Fuente:(Moubray, 2004).

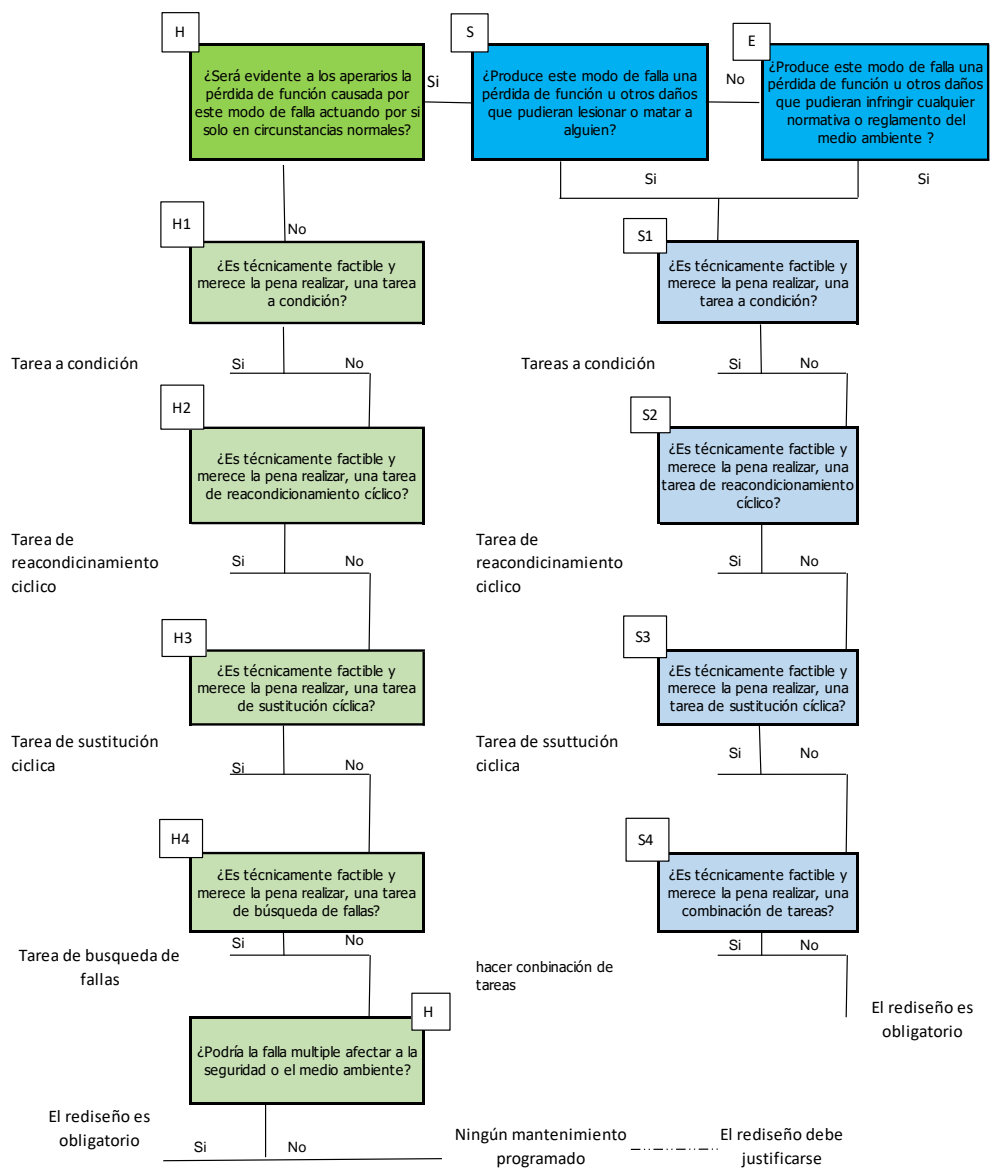
3.2.2.3. Hoja de Decisión

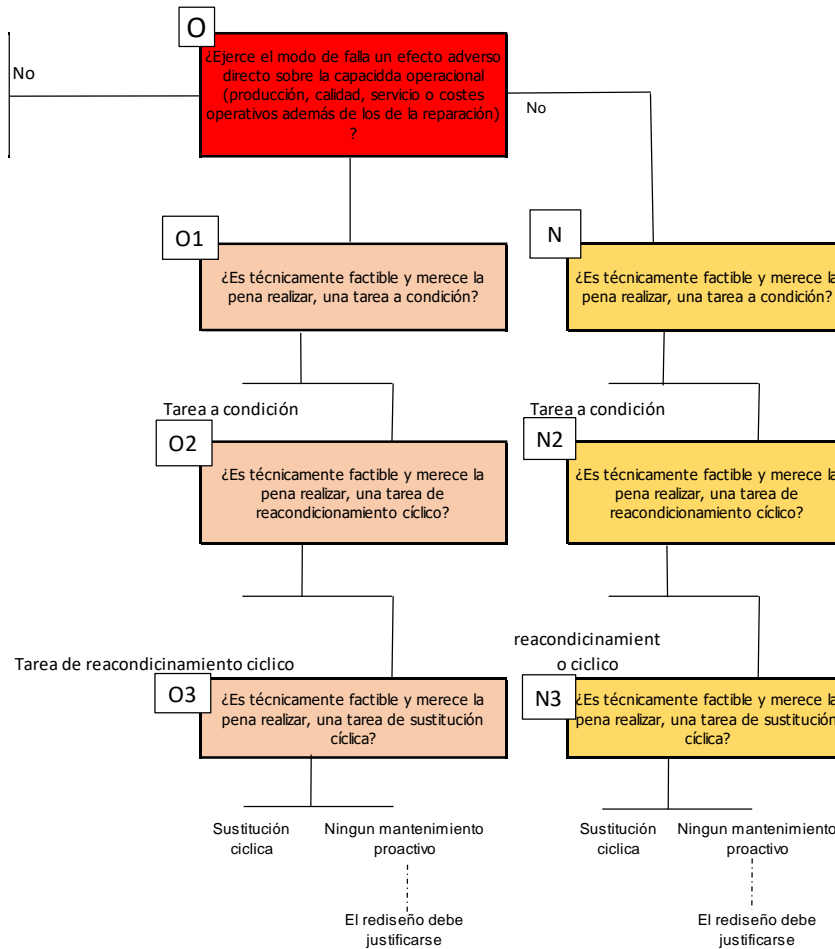
Esta hoja se elabora a partir del Árbol Lógico de Decisiones, con la información procesada en los tres últimos pasos del RCM, de acuerdo a la referencia de la hoja de información. En ella se clasifican el tipo de consecuencia que tiene la falla (fallas ocultas, para la seguridad y el medio ambiente, operacionales y no operacionales); y el tipo de tarea preventiva que se va a realizar. En el cuadro se muestra una hoja de decisión.

Tabla N° 3: Hoja de decisión

HOJA DE DECISIÓN RCM EPIME UNA PUNO			SISTEMA/ACTIVO						Sistema N°	Facilitador:	FECHA	Hoja N°:			
			SUB SISTEMA/COMPONENTE						Sub sistema N°	Auditor:		de			
REFERENCIA DE INFORMACION			EVALUACION DE LAS CONSECUENCIAS				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción "a falta de"			Tareas propuestas	Intervalo inicial	A realizar se por
F	FF	FM	H	S	E	O			H4	H5	S4				
Función	Falla Funcional	Modo de Falla	¿Será evidente a los operarios la pérdida de función causada por este modo de falla?	¿Este modo de falla produce una pérdida de función u otros daños que pudieran lesionar o matar cualquier normativa ó	¿Produce este modo de fallo una pérdida de función u otros daños que pudieran infringir	¿Ejerce el medio de falla un efecto adverso directo sobre la capacidad operacional (producción, calidad, servicios o	¿Ejerce el medio de falla un efecto adverso directo sobre la capacidad operacional (producción, calidad, servicios o	¿Es técnicamente factible y merece la pena realizar una tarea de condición MPD?	¿Es técnicamente factible y merece la pena realizar una tarea de reacondicionamiento cíclico?	¿Es técnicamente factible y merece la pena realizar una tarea de Sustitución reacondicionamiento	¿Es técnicamente factible y merece la pena realizar una tarea de búsqueda de fallas?	¿Podría la falla múltiple afectar a la seguridad o el medio ambiente?	El rediseño debe justificarse		

Figura N° 19: Árbol Lógico





Fuente: (Moubray, 2004).

3.2.2.5. Análisis de Criticidad

El análisis de la criticidad se utiliza para clasificar el riesgo asociado a cada modalidad de fallo identificada durante el FMECA, evaluando la gravedad del efecto final y la probabilidad de fallo sobre la base de los mejores datos disponibles. Esto permite la comparación de cada modalidad de fallo con todas las demás modalidades de fallo con respecto al riesgo.(KLASIFIKASI, 2012).

La medición de la criticidad puede realizarse de varias maneras de las que se derivan diferentes tipos de FMECA. Aquí presentaremos la basada en el riesgo. Esto sigue la norma IEC 60812, y se refiere al concepto de Riesgo y Número de Prioridad de Riesgo

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

Viene dada por la siguiente ecuación:

$$RPN = S * O * D \quad (9)$$

Donde:

- S (Gravedad) representa la estimación de la intensidad de los efectos de un fallo en el sistema o el usuario (personal o cliente, por ejemplo). Este es la gravedad o criticidad del fallo y se expresa generalmente en niveles de criticidad, cabe señalar que S es un número no dimensional. .
- 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.
- 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).

El nivel de criticidad junto con la RPN (Riesgo y Número de Prioridad) permite establecer en qué modo de falla es necesario concentrar los recursos para mitigar o anular los efectos. Teniendo en consideración los valores de S, O y D resumidos en los cuadros N° 4, 5 y 6; el índice RPN resulta multiplicando los 3 factores cada uno de los cuales está incluido en la escala de 1-10.



Tabla N° 4: Clasificación Gravedad (S)

Gravedad (S)		
Duración del servicio interrupción	Criterio de severidad	Valor
> 8h	Muy catastrófica	10
7h	Catastrófico	9
6h	Muy serio	8
5h	Grave	7
4h	Medio	6
3h	Significativo	5
2h	Menor	4
1h	Muy menor	3
30 minutos	Pequeña	2
<30 min	Muy pequeña	1

Fuente: (Yssaad et al., 2012).

Tabla N° 5: 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	Alta, falla frecuente	7
Una vez cada 6 meses		8
Una vez al mes	Muy alto	9
Una vez cada semana		10

Fuente: (Yssaad et al., 2012).

Tabla N° 6 : Clasificación Gravedad (D)

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

Fuente: (Yssaad et al., 2012).

De acuerdo a la metodología propuesta obtenemos el valor de la criticidad de acuerdo a la tabla N° 7. Los elementos que obtengan un valor mayor que 30 son los que debemos actuar principalmente mediante acciones de mantenimiento, correctivas, preventivas, de mejora o incluso de rediseño.

Tabla N° 7: Clasificación Criticidad

CRITICIDAD (C)		RIESGO
NIVEL DE CRTICIDAD	RPN	
Menor	0-30	ACEPTABLE
Medio	31-60	TOLERABLE
Alto	61-180	
Muy alto	181-252	INACEPTABLE
Crítico	253-324	
Muy Crítico	>324	

Fuente: (Yssaad et al., 2012).

Para la elaboración del plan de mantenimiento preventivo se seguirá el método propuesto en base a la criticidad y de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla N° 8: Acción de mantenimiento

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

Fuente: (Yssaad et al., 2012).

3.2.3. Intervalos de mantenimiento preventivo

3.2.3.1. Distribución de Confiabilidad

Para lograr el presente objetivo de la estimación de los intervalos de mantenimiento preventivo para los equipos críticos lo realizamos por medio del Análisis de Weibull. La distribución de Weibull viene dada por:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta} \quad (10)$$

La distribución de Weibull se utiliza como modelo para describir la mortalidad infantil y está en función de tres parámetros: γ (vida mínima o período dentro del cual no se produce el fallo), η (parámetro de escala previsto como vida característica) y β (un parámetro de forma). Si $\gamma = 0$, podemos escribir las siguientes relaciones: (Lazzaroni et al., 2013)

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta} \right)^\beta} \quad (11)$$

La Función Distribución Acumulativa de la distribución de Weibull es de la siguiente forma:

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

Cuando $t - \gamma = \eta$, el valor de $F(t)$ es 63.2% y la función acumulativa no depende de los valores que pueda tomar β .

La función de fiabilidad de Weibull está representada por la ecuación: (Calixto, 2013)

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (13)$$

La función de la tasa de fallos de Weibull está representada por la ecuación:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (14)$$

Donde t es el tiempo hasta el fallo, es decir, el parámetro de envejecimiento primario, η es el parámetro de escala o de vida de las características, es decir, el tiempo en el que se produce el 63,2% de los fallos y β 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 a medida que aumenta el valor del parámetro de envejecimiento.
- $\beta > 1$: El riesgo de fallo de los componentes aumenta a medida que aumenta el valor del parámetro de envejecimiento. (Kundu et al., 2019)

3.2.3.2. Métodos de cálculo manual

Los datos equivalentes se clasifican en orden ascendente ($i = 1$ a n) para los métodos de cálculo manual. Las probabilidades iguales de fallo, se asignan a cada punto



de datos en forma acumulativa con funciones llamadas estimadores de probabilidades

estos son los siguientes:(Datsiou & Overend, 2018)

Rango medio

$$C_1 = 0 \rightarrow r_i \hat{\leftrightarrow} = \frac{i}{n+1} \quad (15)$$

Rango promedio

$$C_3 = 0.3 \rightarrow r_i \hat{\leftrightarrow} = \frac{i - 0.3}{n + 0.4} \quad (16)$$

Muestra pequeña

$$C_3 = 0.375 \rightarrow r_i \hat{\leftrightarrow} = \frac{i - 0.375}{n + 0.25} \quad (17)$$

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

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente capítulo se obtiene los resultados correspondientes a los objetivos planteados en la presente investigación de acuerdo a la metodología planteada en el capítulo anterior.

4.1. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Para realizar el diagnóstico de la situación actual se realizó a través del análisis del factor de estado con lo cual podremos describir el estado real del equipo.

Tabla N° 9: Diagnostico

Sistema	Sub Sistema	Elementos	Condición	Uso
Chancadora de Cono MP 1000	Chancadora Primaria	Cuerpo	operativo	Uso normal
		Eje principal	operativo	Uso normal
		Eje secundario (Contraeje y Piñón)	operativo	Uso normal
		Coraza o Envuelta	operativo	Uso normal
		Cuba	operativo	Uso normal
		Contrapeso, Conjunto de excéntrica.	operativo	Uso normal
		Cóncavas	operativo	Uso normal
		Bujes (Sellos)	operativo	Uso normal
		Cojinetes	operativo	Uso normal
		Enfriador	operativo	Uso normal
		Transmisión (Correas trapezoidales)	operativo	Uso normal
	Sistema de sello de polvo	operativo	Uso normal	
	Sistema de Lubricación	Deposito	operativo	Uso normal
		Filtro y colador	operativo	Uso normal
		Motor	operativo	Uso normal
		Bomba	operativo	Uso normal
		Tubería de succión	operativo	Uso normal
		Válvulas	operativo	Uso normal
	Unidad de potencia hidráulica	Deposito	operativo	Uso normal
		Motor hidráulico	operativo	Uso normal
		Bomba hidráulica	operativo	Uso normal
		Pistón hidráulico	operativo	Uso normal
		Acumulador de Nitrógeno	operativo	Uso normal
		Válvula de Alivio	operativo	Uso normal

Elaboración propia.



4.2. COMPONENTES CRÍTICOS DE LA CHANCADORA DE CONO MP1000.

Utilizando la metodología planteada realizamos el análisis de criticidad de los diferentes elementos componentes de la Chancadora de Cono MP 1000, lo que describimos a continuación.

4.2.1. Análisis de modos y efectos de falla (FMEA)

De acuerdo a el procedimiento planteado y teniendo en consideración los sub sistemas y elementos identificados de la chancadora de cono MP 1000; para el análisis de modo y efectos de falla (FMEA), planteada por Moubray, está constituida por la hoja de información que se elabora a partir del Árbol Lógico y la hoja de decisiones, en la que se clasifican el tipo de consecuencia que tiene la falla (fallas ocultas, para la seguridad y el medio ambiente, operacionales y no operacionales). Los resultados siguientes establecidos en los cuadros a continuación:



Tabla N° 10: FMEA Cuerpo

HOJA DE INFORMACIÓN		Sistema: Chancadora MP 1000		N° 001	RECOPIADO POR:WCM	FECHA: 2019
		Sub sistema: Cuerpo				
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA (Causa de la Falla)		EFEECTO DE LA FALLA (Que sucede cuando ocurre la falla)
1	Reducir las partículas del material a un tamaño establecido.	A	No reduce las partículas del material a un tamaño establecido.	1	El chancador absorbe demasiada corriente.	Recalentamiento del chancador
				2	El chancador está demasiado ajustado.	Recalentamiento del chancador
				3	Aceite indebido en el chancador. Aceite demasiado pesado.	El chancador resume aceite
				4	El chancador no está debidamente ventilado	El chancador resume aceite
				5	Alimentación mojada, pegajosa al chancador.	El chancador se para
				6	Abertura de alimentación incorrecta (demasiado grande) en la cavidad de trituración.	El chancador se para
				7	Polea del chancador muy desequilibrada.	Vibración excesiva
				8	Envuelta floja o desgastada.	Vibración excesiva
				9	Alimentación intermitente durante la fase inicial de funcionamiento con corazas nuevas.	Desgaste excesivo en las superficies de asentamiento de la cabeza o la cuba
				10	La polea del chancador introduce polvo en el respiradero del soplador.	Contaminación por el polvo y la suciedad en el sistema de lubricación
				11	Desgaste desigual en la parte superior de las superficies de asentamiento del bastidor principal y del anillo de ajuste	Anillo de ajuste inclinado
				12	Corazas inapropiadas hacen que el anillo de ajuste golpee la superficie de asentamiento del bastidor principal.	Anillo de ajuste inclinado
				13	Ajuste de chancador demasiado apretado.	Cuba floja

Elaboración propia.

Tabla N° 11: FMEA Eje Principal y Secundario

HOJA DE INFORMACIÓN	Sistema: Chancadora MP 1000		N° 002	RECOPIADO POR: WCM	FECHA: 2019
	Sub sistema: Eje Principal, Eje secundario (Contraeje y Piñón)				
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA	
			(Causa de la Falla)	(Que sucede cuando ocurre la falla)	
1	B	No reduce las partículas del material a un tamaño establecido.	1	Los agujeros de lubricación en el eje principal están taponados con suciedad u otros residuos	Recalentamiento del chancador
			2	Los tornillos de cabeza del adaptador están cizallados. Pérdida del ajuste de interferencia entre el eje principal y el adaptador debido al desgaste.	Adaptador flojo
1	C	No transmite potencia suficiente para accionar el engranaje de la excéntrica y que esta realice el movimiento oscilatorio de la parte baja del eje principal y del manto.	1	Velocidad del eje secundario demasiado baja.	El chancador se para
			2	Envuelta – El eje secundario del chancador gira en el sentido equivocado.	Envuelta o coraza de la cuba floja
			3	El aceite no se drena suficientemente rápido de la caja del eje secundario o la caja del obturador de aceite, especialmente cuando el aceite está frío	Fugas de aceite en el extremo de la polea de la caja del eje secundario
			4	Interferencia entre el engranaje y la base de los dientes del piñón.	Vibración excesiva
			5	Eje secundario doblado.	Vibración excesiva
			6	La velocidad (rpm) del eje secundario es demasiado alta.	Vibración excesiva
			7	El soplador de aire de la caja del eje secundario no funciona.	Contaminación por el polvo y la suciedad en el sistema de lubricación
			8	El respiradero conectado a la caja del eje secundario, soplador o depósito de aceite no funciona de forma apropiada.	Contaminación por el polvo y la suciedad en el sistema de lubricación
			9	La manguera del soplador a la caja del eje secundario está rota o desconectada.	Contaminación por el polvo y la suciedad en el sistema de lubricación

Elaboración propia.



Tabla N° 12: FMEA Envuelta o Coraza

HOJA DE INFORMACIÓN	Sistema: Chancadora MP 1000		N° 003	RECOPIADO POR:WCM	FECHA: 2019
	Sub sistema: Coraza o envuelta				
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA		EFECTO DE LA FALLA	
		(Causa de la Falla)		(Que sucede cuando ocurre la falla)	
1	D	No fija el equipo para reducir las partículas del material a un tamaño establecido	1	Envuelta o coraza de la cuba acopada en el fondo.	El chancador se para
			2	La envuelta o la coraza de la cuba se desgasta demasiado rápido en la zona paralela.	El chancador se para
			3	Las superficies de asentamiento de la envuelta o la cabeza están desgastadas o no están bien	Envuelta o coraza de la cuba floja
			4	Holgura de refuerzo insuficiente entre la envuelta y la cabeza.	Envuelta o coraza de la cuba floja
			5	Envuelta deformada circunferencialmente.	Envuelta o coraza de la cuba floja
			6	La envuelta no está centrada en la cabeza.	Envuelta o coraza de la cuba floja
			7	La envuelta no está apretada en la cabeza durante la instalación inicial.	Envuelta o coraza de la cuba floja
			8	La envuelta es demasiado delgada.	Envuelta o coraza de la cuba floja
			9	Las puntas de las cuñas hacen contacto con el diámetro exterior de la coraza de la cuba o los pernos están flojos.	Envuelta o coraza de la cuba floja
			10	Coraza de la cuba demasiado delgada.	Envuelta o coraza de la cuba floja
			11	Las superficies de asentamiento de cuba o de la coraza de la cuba están desgastadas o no están bien maquinadas.	Envuelta o coraza de la cuba floja
			12	El chancador funciona con una envuelta o coraza de cuba floja.	Desgaste excesivo en las superficies de asentamiento de la cabeza o la cuba
			13	El chancador funciona con una envuelta o coraza de cuba excesivamente desgastada.	Desgaste excesivo en las superficies de asentamiento de la cabeza o la cuba
			14	Desgaste completo de la envuelta o de la coraza de la cuba y trituración en la cabeza o la cuba.	Desgaste excesivo en las superficies de asentamiento de la cabeza o la cuba
			15	Envuelta o coraza de la cuba agrietada.	Desgaste excesivo en las superficies de asentamiento de la cabeza o la cuba

Elaboración propia.

Tabla N° 13: FMEA Cuba, Contrapeso, Bujes, Cojinetes

HOJA DE INFORMACIÓN	Sistema: Chancadora MP 1000		N° 004	REF.	RECOPIADO POR: WCM	FECHA: 2019
	Sub sistema: Contrapeso, Bujes, Cojinetes	Cuba,				
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFECTO DE LA FALLA	
			(Causa de la Falla)		(Que sucede cuando ocurre la falla)	
1	E	Reducir las partículas del material a un tamaño establecido.	1	Anillo de ajuste y roscas de la cuba desgastados.	Cuba floja	
			2	Operación con la presión del cilindro de sujeción demasiado baja.	Cuba floja	
			3	Uso de una envuelta o coraza de cuba demasiado gruesa.	Cuba floja	
			4	Ajuste del chancador demasiado grande.	Cuba floja	
			5	Envuelta, la tuerca de traba no se aprieta automáticamente.	Envuelta de la cuba floja	
1	F	Reducir las partículas del material a un tamaño establecido.	1	El agua se acumula en la parte superior de la tapa del contrapeso.	Agua en el aceite de lubricación	
			2	Contrapeso o protector y tapa de contrapeso desgastados.	Vibración excesiva	
1	G	Reducir las partículas del material a un tamaño establecido.	1	Superficie interior del buje de la cabeza deformada.	Recalentamiento del chancador	
			2	Superficie del buje de la excéntrica deformada o quemada.	Recalentamiento del chancador	
1	H	Reducir las partículas del material a un tamaño establecido.	1	Cojinete de empuje superior desgastado.	Recalentamiento del chancador	
			2	Los cojinetes de empuje superior e inferior están torcidos o ya no están planos.	Recalentamiento del chancador	

Elaboración propia.



Tabla N° 14: FMEA Enfriador, Sellos.

HOJA DE INFORMACIÓN	Sistema: Chancadora MP 1000		N° 005	RECOPIADO POR:WCM	FECHA: 2019
	Sub sistema: Enfriador, Transmisión, Sellos				
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA	
			(Causa de la Falla)	(Que sucede cuando ocurre la falla)	
1 El enfriador: Mantener la temperatura dentro de los márgenes de operación	E	Recalentamiento del sistema chancado.	1	Alimentación caliente o especialmente dura que hace que el chancador genere más calor.	Recalentamiento del chancador
			2	Correas trapeciales demasiado tensas.	Recalentamiento del chancador
			3	Enfriador de aceite taponado con tierra, polvo u otros residuos.	Recalentamiento del chancador
			4	Aceite demasiado frío.	El chancador salpica aceite
			5	Correas trapeciales demasiado flojas.	El chancador se para
			6	Tubos del intercambiador de calor de agua erosionados o dañado	Agua en el aceite de lubricación
			7	El chancador no está debidamente ventilado.	Fugas de aceite en el extremo de la polea de la caja del eje secundario
Los sellos: Evitar que el polvo entre al chancador.	F	No evita que el polvo ingrese al chancador	1	Tramo vertical de la tubería de drenaje del chancador demasiado largo.	Contaminación por el polvo y la suciedad en el sistema de lubricación
			2	No hay sellos ni empaquetaduras entre el depósito de aceite y la tapa del depósito de aceite.	Contaminación por el polvo y la suciedad en el sistema de lubricación
			3	La manguera o la conexión del respiradero de aire está rota o desconectada.	Contaminación por el polvo y la suciedad en el sistema de lubricación

Elaboración propia.



Tabla N° 15: FMEA Lubricación

HOJA DE INFORMACIÓN	SISTEMA: CHANCADORA MP 1000		N° 006	RECOPIADO POR: WCM	FECHA: 2019	
	SUB- SISTEMA:Lubricación					
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA		EFECTO DE LA FALLA		
		(Causa de la Falla)		(Que sucede cuando ocurre la falla)		
1	B	No mantiene una temperatura dentro de los estandares de operación establecidos	1	La bomba no está cebada	Pérdida de flujo o baja capacidad	
			2	Velocidad baja de la bomba	Pérdida de flujo o baja capacidad	
			3	Rotación incorrecta de la bomba	Pérdida de flujo o baja capacidad	
			4	Obstrucción en la tubería	Pérdida de flujo o baja capacidad	
			5	Desgaste de los engranajes de la bomba	Pérdida de flujo o baja capacidad	
			6	Tubería de succión cerrada, bloqueada o con fugas	Pérdida de succión	
			7	Aire en el sistema	Presión de descarga baja	
			8	Velocidad baja del motor	Presión de descarga baja	
			9	Fuga de la válvula de alivio	Presión de descarga baja	
			10	Desalineamiento	Ruido o vibración excesivo o inusual	
			11	Tubería de succión restringida	Ruido o vibración excesivo o inusual	
			12	Chirrido o fugas de la válvula de alivio	Ruido o vibración excesivo o inusual	
			13	Aceite insuficiente	Desgaste rápido de la bomba	
			14	Las tuberías de succión y descarga de la bomba están cerradas o bloqueadas	Uso excesivo de corriente	
			15	Velocidad excesiva de la bomba	Uso excesivo de corriente	

Elaboración propia.



Tabla N° 16: FMEA Ajuste Hidráulico

HOJA DE INFORMACIÓN	SISTEMA: CHANCADORA MP 1000		N° 007	RECOPILADO POR: WCM	FECHA: 2019	
	SUB-SISTEMA: Hidráulico					
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA		EFECTO DE LA FALLA		
		(Causa de la Falla)		(Que sucede cuando ocurre la falla)		
1	C	No acciona el manto para ajustar las distancias y mantener la posición del eje. Protege de inchancables.	1	Eje de la bomba de lubricación trabado.	El chancador se para	
			2	Apilamiento en cámara de chancadora.	El chancador se para	
			3	Fragmentos de hierro.	El chancador se para	
			4	Obstrucción en la tubería	El chancador se para	
			5	Desgaste de los engranajes de la bomba	Pérdida de flujo o baja capacidad	
			6	Tubería de succión cerrada, bloqueada o con fugas	Pérdida de succión	
			7	Bajo o nulo flujo de aceite de lubricación (aumento de la viscosidad del aceite a causa de	Presión de descarga baja	
			8	Sellos de pistón hidráulicos gastados o defectuosos.	No mantienen el ajuste	
			9	Fuga de la válvula de relevo	No mantiene el ajuste	
			10	Desalineamiento	Ruido o vibración excesivo o inusual	
			11	Aceite insuficiente	Desgaste rápido de la bomba	

Elaboración propia.



4.2.2. Análisis de Criticidad

El análisis de la criticidad se utiliza para clasificar el riesgo asociado a cada modalidad de fallo identificada durante el FMEA, evaluando la gravedad del efecto final y la probabilidad de fallo sobre la base de los mejores datos disponibles. Esto permite la comparación de cada modalidad de fallo con todas las demás modalidades de fallo con respecto al riesgo.

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

$$RPN = S * O * D \quad (18)$$

De acuerdo a la metodología establecida en el capítulo 3 y utilizando la ecuación 18 descrita anteriormente tenemos lo siguiente:

Tabla N° 17: Análisis de criticidad.

Equipo		Ocurrencia (O)	Gravedad (S)	Detectabilidad (D)	RPN=OxSxD	Criticidad	Nivel
Chancadora de Cono MP 1000							
Unidad de potencia hidráulica	Sistema de Lubricación	Chancadora					
		Deposito	2	4	5	40	Medio
	Motor hidráulico	2	4	3	24	Bajo	Aceptable
	Bomba hidráulica	6	4	2	48	Medio	Tolerable
	Pistón hidráulico	8	4	4	128	Medio	Tolerable
	Acumulador de Nitrógeno	2	4	5	40	Medio	Tolerable
	Válvula de Alivio	9	4	3	108	Medio	Tolerable
	Cuerpo	2	6	2	24	Bajo	Aceptable
	Eje principal	2	6	2	24	Bajo	Aceptable
	Eje secundario (Contra eje y Piñón)	2	4	7	56	Medio	Tolerable
	Coraza o Envuelta	2	4	8	64	Medio	Tolerable
	Cuba	2	4	7	56	Alto	Tolerable
	Contrapeso. Conjunto de excéntrica.	2	4	7	56	Alto	Tolerable
	Bujes (Sellos)	8	7	2	112	Alto	Tolerable
	Coinetes	8	7	6	336	Muy Critico	Inaceptab
	Enfriador	8	6	3	144	Alto	Tolerable
	Transmisión (Correas trapezoidales)	2	4	8	64	Medio	Tolerable
	Sistema de sello de polvo	7	4	7	196	Muy Critico	Inaceptab
	Deposito	2	4	3	24	Bajo	Aceptable
	Filtro y colador	6	4	4	96	Medio	Tolerable
	Motor	2	4	5	40	Medio	Tolerable
	Bomba	2	4	4	32	Medio	Tolerable
	Tubería de succión	2	4	5	40	Medio	Tolerable
	Válvulas	7	4	3	84	Medio	Tolerable

Elaboración propia.

Tabla N° 18: Acciones de mantenimiento

Equipo	Criticidad (C)	Acción de mantenimiento
Cojinetes	Inaceptable	Revisión del diseño de mantenimiento (Rediseño)
Sistema de sello de polvo	Inaceptable	
Enfriador	Tolerable	Mantenimiento preventivo sistemático
Pistón hidráulico	Tolerable	
Bujes (Sellos)	Tolerable	
Válvula de Alivio	Tolerable	
Filtro y colador	Tolerable	
Válvulas	Tolerable	
Coraza o Envuelta	Tolerable	
Transmisión (Correas trapezoidales)	Tolerable	
Eje secundario (Contraeje y Piñón)	Tolerable	
Cuba	Tolerable	
Contrapeso, Conjunto de excéntrica.	Tolerable	
Bomba hidráulica	Tolerable	
Motor	Tolerable	
Tubería de succión	Tolerable	
Deposito	Tolerable	
Acumulador de Nitrógeno	Tolerable	
Bomba	Tolerable	
Cuerpo	Aceptable	Acción correctiva
Eje principal	Aceptable	
Deposito	Aceptable	
Motor hidráulico	Aceptable	

Elaboración propia.

4.3. INTERVALOS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Estos intervalos de mantenimiento preventivo se aplican para los elementos críticos. Se aplicará la metodología de Weibull descrita en el capítulo anterior.

Para los cojinetes tenemos el siguiente análisis:

El método aplicado sigue el procedimiento siguiente:

Registro de las fallas del elemento en análisis:

Para los cojinetes tenemos lo siguiente:



Tabla N° 19: Registro de fallas de cojinetes.

Horómetro	t	Menor a Mayor
427.0	427	81
608.0	181	86
994.0	386	91
1385.0	391	97
1782.0	397	103
1885.0	103	111
2496.0	611	120
2916.0	420	131
3247.0	331	143
3990.0	743	158
4548.0	558	176
4724.0	176	200
5324.0	600	232
6156.0	832	273
6929.0	773	335
7564.0	635	427
8196.0	632	432
8804.0	608	440
9244.0	440	608
9865.0	621	621

Elaboración propia.

Calculamos la distribución acumulada de fallas mediante la siguiente expresión:

Para el tamaño de la muestra N, el rango se obtiene de la aproximación de Bernard:

$$\hat{F}(t) = \frac{i - 0.3}{N + 0.4}$$

Donde:

N; es el número de elementos de la prueba

i ; el número en que falló

Para el primer elemento tenemos lo siguiente:

$$\hat{F}(t) = \frac{1 - 0.3}{20 + 0.4} = \frac{0.7}{20.4} = 0.034313725$$

Para el resto de resultados se muestra en el cuadro a continuación:

Tabla N° 20: Rango promedio de fallas de cojinetes

i	$\hat{F}(t) = \frac{i - 0.3}{N + 0.4}$
1	0.034313725
2	0.083333333
3	0.132352941
4	0.181372549
5	0.230392157
6	0.279411765
7	0.328431373
8	0.37745098
9	0.426470588
10	0.475490196
11	0.524509804
12	0.573529412
13	0.62254902
14	0.671568627
15	0.720588235
16	0.769607843
17	0.818627451
18	0.867647059
19	0.916666667
20	0.965686275

Elaboración propia.

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

$$X = \ln t$$

Las ordenadas “Y” mediante la siguiente formula:

$$Y = \ln \left(\ln \frac{1}{1 - \hat{F}(t)} \right)$$



Tabla N° 21 : Parámetros X, Y de fallas de cojinetes.

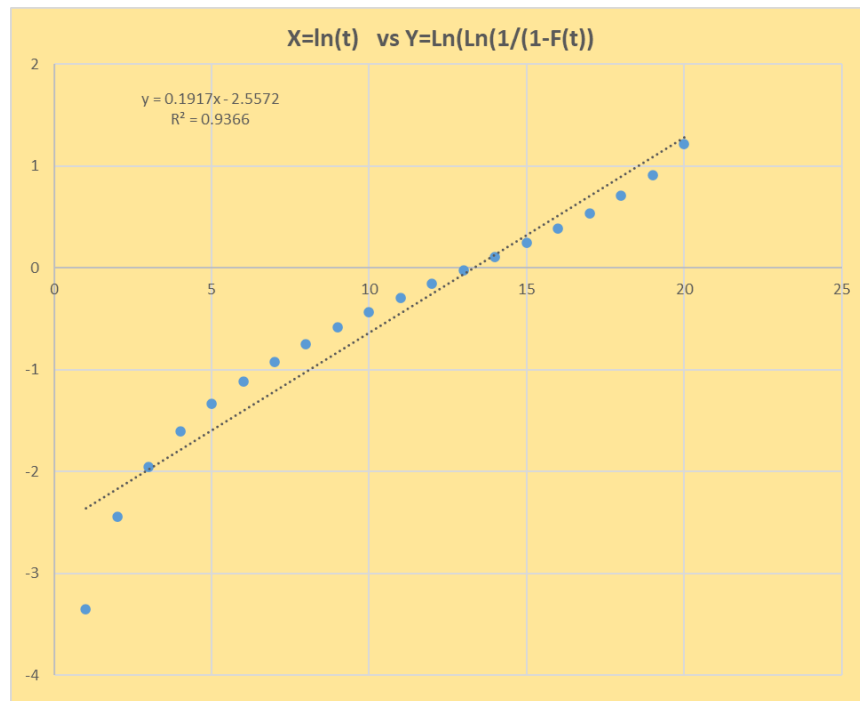
$t(\text{hrs})$	$\hat{F}(t) = \frac{i - 0.3}{N + 0.4}$	$x = \ln t$	$Y = \ln\left(\ln\frac{1}{1 - \hat{F}(t)}\right)$
103	3.43%	4.63472899	-3.354802509
176	8.33%	5.170484	-2.441716399
181	13.24%	5.19849703	-1.952137671
331	18.14%	5.80211838	-1.608807204
386	23.04%	5.95583737	-1.339891087
391	27.94%	5.96870756	-1.115695152
397	32.84%	5.98393628	-0.920953918
420	37.75%	6.04025471	-0.746689513
427	42.65%	6.05678401	-0.587084006
440	47.55%	6.08677473	-0.438053654
558	52.45%	6.32435896	-0.296508894
600	57.35%	6.39692966	-0.159920103
608	62.25%	6.41017488	-0.026021058
611	67.16%	6.41509696	0.107442983
621	72.06%	6.43133108	0.24300008
632	76.96%	6.44888939	0.383882124
635	81.86%	6.453625	0.534855821
743	86.76%	6.61069604	0.704227134
773	91.67%	6.65027905	0.910235093
832	96.57%	6.72383244	1.21556827

Elaboración propia.

Con los datos obtenidos de X, Y se procede a realizar la gráfica de Weibull la cual se muestra a continuación:

}

Figura N° 20: Grafica Weibull Cojinetes



Elaboración propia.

De la gráfica de Weibull obtenemos el parámetro β , que es la pendiente de la recta $y = 0.191x - 2.5572$ obtenida. De donde obtenemos los parámetros siguientes:

- a) De forma (β)
- b) Vida característica (η)
- c) Parámetro de localización (γ)

β	2.095
Υ	0
η	571

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

Vida característica (η); nos da un tiempo estimado de 571 horas



El parámetro de forma (β) obtenido; $2.09 > 1$; nos indica que está en etapa de desgaste se recomienda realizar mantenimiento preventivos.

Calculamos la función de fiabilidad mediante la siguiente expresión:

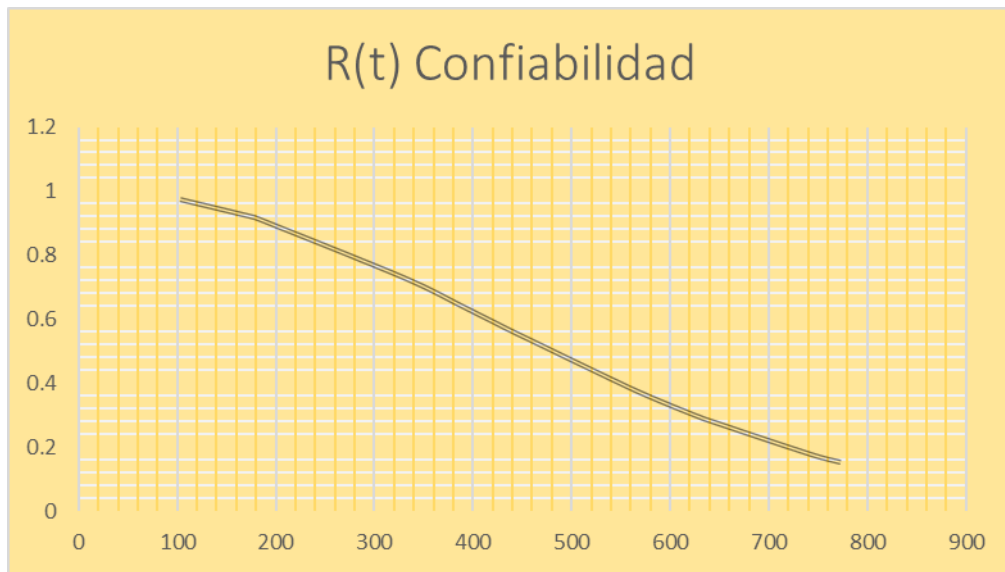
$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{350-0}{571}\right)^{2.09}} = 69.90 \approx 70\%$$

Lo cual nos indica que para un tiempo $t = 350$ horas tendríamos una confiabilidad muy aproximada del 70%, que sería el intervalo recomendado para realizar el mantenimiento preventivo, estos intervalos se pueden ajustar en tiempo es decir si aumentamos el tiempo para realizar el mantenimiento por ejemplo 500 horas la confiabilidad será de 47%, es decir disminuye; por otro lado si disminuimos el tiempo por ejemplo a 100 horas tendríamos una confiabilidad alta de 97%, para tomar la decisión se tiene que ver los aspectos económicos y de disponibilidad finales.

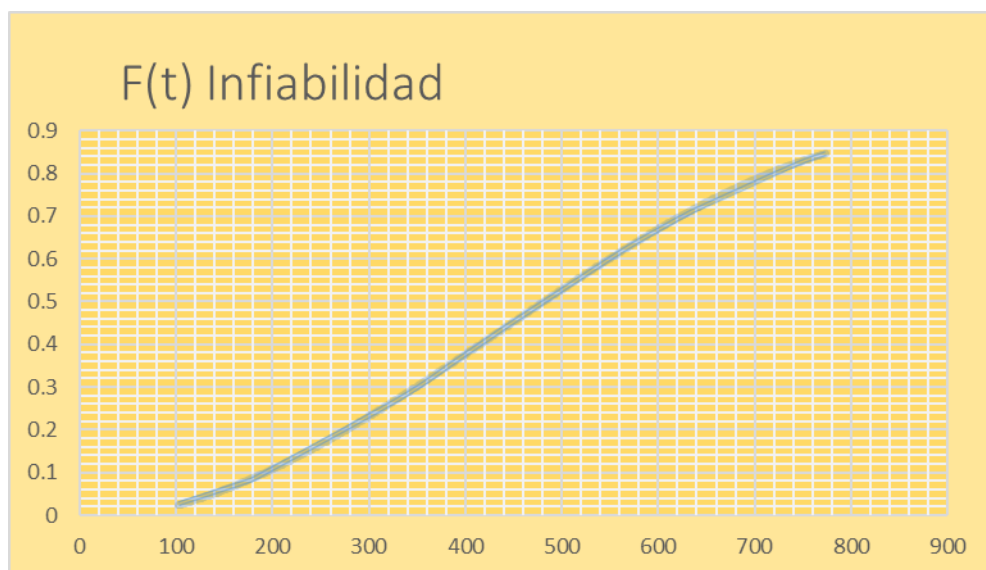
La grafica de fiabilidad nos muestra la evolución de confiabilidad de acuerdo al transcurso del tiempo podemos notar que para un tiempo de vida mínima la confiabilidad representa el 100% que esta próxima a las 100 horas en cambio para una confiabilidad cercana a cero el tiempo es cercana a las 750 horas en donde es inexistente la confiabilidad como podemos observar en la gráfica.

Figura N° 21: Grafica Confiabilidad Cojinetes



Elaboración propia.

Figura N° 22: Grafica Infiabilidad Cojinetes



Elaboración propia.

Para el sistema de sellado de polvo tenemos el siguiente análisis:

El método aplicado sigue el procedimiento ya descrito anteriormente:



Registro de las fallas del elemento en análisis:

Para el sistema de sellado de polvo tenemos lo siguiente:

Tabla N° 22 : Registro de fallas del sistema de sellos.

Horómetro	t	Menor a Mayor
2513	848	209
3306	793	336
3725	419	347
4061	336	419
4578	517	463
5212	634	479
6101	890	517
6580	479	634
6789	209	782
7251	463	793
8033	782	848
8379	347	890

Elaboración propia

Calculamos la distribución acumulada de fallas mediante la siguiente expresión:

Para el tamaño de la muestra N, el rango se obtiene de la aproximación de Bernard:

$$\hat{F}(t) = \frac{i - 0.3}{N + 0.4}$$

Donde:

N; es el número de elementos de la prueba

i ; el número en que falló

Para el primer elemento tenemos lo siguiente:

$$\hat{F}(t) = \frac{1 - 0.3}{12 + 0.4} = \frac{0.7}{12.4} = 0.052238806$$

Para el resto de resultados se muestra en el cuadro a continuación:

Tabla N° 23: Rango promedio de fallas del sistema de sellos.

i	$\hat{F}(t) = \frac{i - 0.3}{N + 0.4}$
1	0.052238806
2	0.126865672
3	0.201492537
4	0.276119403
5	0.350746269
6	0.425373134
7	0.5
8	0.574626866
9	0.649253731
10	0.723880597
11	0.798507463
12	0.873134328

Elaboración propia

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

$$X = \ln t$$

Las ordenadas “Y” mediante la siguiente formula:

$$Y = \ln \left(\ln \frac{1}{1 - \hat{F}(t)} \right)$$

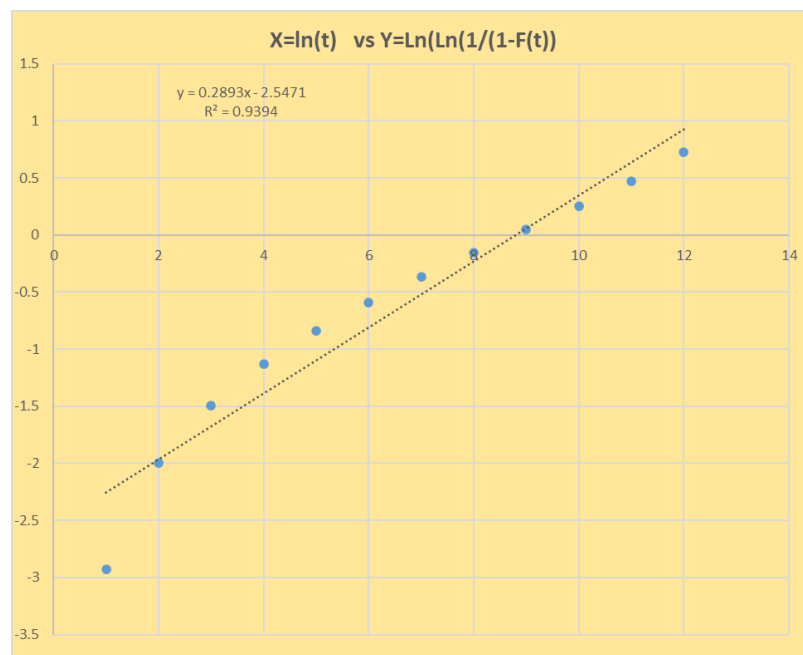
Tabla N° 24: Parámetros X, Y de fallas de sistemas de sellos.

$t(\text{hrs})$	$\hat{F}(t) = \frac{i - 0.3}{N + 0.4}$	$x = \ln t$	$Y = \ln \left(\ln \frac{1}{1 - \hat{F}(t)} \right)$
209	5.22%	5.34233425	-2.925223234
336	12.69%	5.81562196	-1.99756029
347	20.15%	5.84788282	-1.491606142
419	27.61%	6.03787092	-1.129704207
463	35.07%	6.13664656	-0.839487848
479	42.54%	6.17065621	-0.59052854
517	50.00%	6.24804287	-0.366512921
634	57.46%	6.45204895	-0.156901171
782	64.93%	6.66121515	0.046589839
793	72.39%	6.67582322	0.252253233
848	79.85%	6.74288064	0.47125468
890	87.31%	6.79065951	0.724949317

Elaboración propia

Con los datos obtenidos de X, Y se procede a realizar la gráfica de Weibull la cual se muestra a continuación:

Figura N° 23: Grafica Weibull Sellos



Elaboración propia

De la gráfica de Weibull obtenemos el parámetro β , que es la pendiente de la recta $y = 0.2893x - 2.5471$ obtenida. De donde obtenemos los parámetros siguientes:

- a) De forma (β)
- b) Vida característica (η)
- c) Parámetro de localización (γ)

β	2.390
γ	0
η	680

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

Vida característica (η); nos da un tiempo estimado de 680 horas

El parámetro de forma (β) obtenido; $2.39 > 1$; nos indica que está en etapa de desgaste se recomienda realizar mantenimiento preventivos.

Calculamos la función de fiabilidad mediante la siguiente expresión:

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

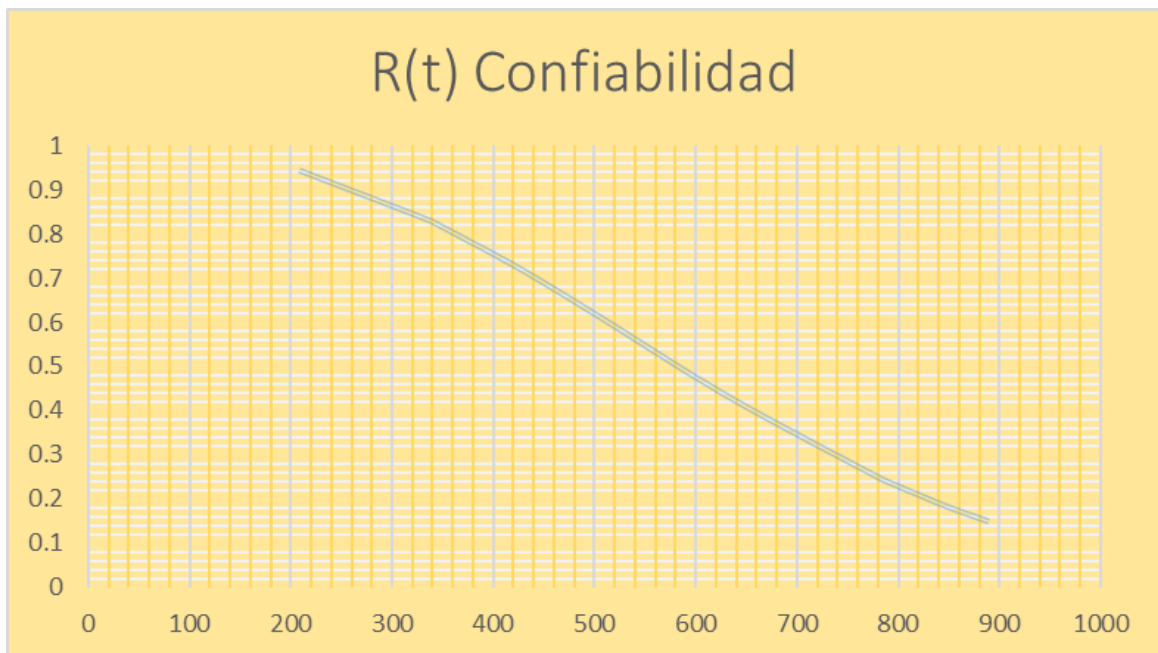
$$R(t) = e^{-\left(\frac{440-0}{680}\right)^{2.39}} = 70.26 \approx 70\%$$

Lo cual nos indica que para un tiempo $t = 440$ horas tendríamos una confiabilidad muy aproximada del 70%, que sería el intervalo recomendado para realizar el mantenimiento preventivo, estos intervalos se pueden ajustar en tiempo es decir si aumentamos el tiempo para realizar el mantenimiento por ejemplo 600 horas la confiabilidad será de 47%, es decir disminuye; por otro lado si disminuimos el tiempo

por ejemplo a 100 horas tendríamos una confiabilidad alta de 99%, para tomar la decisión se tiene que ver los aspectos económicos y de disponibilidad finales.

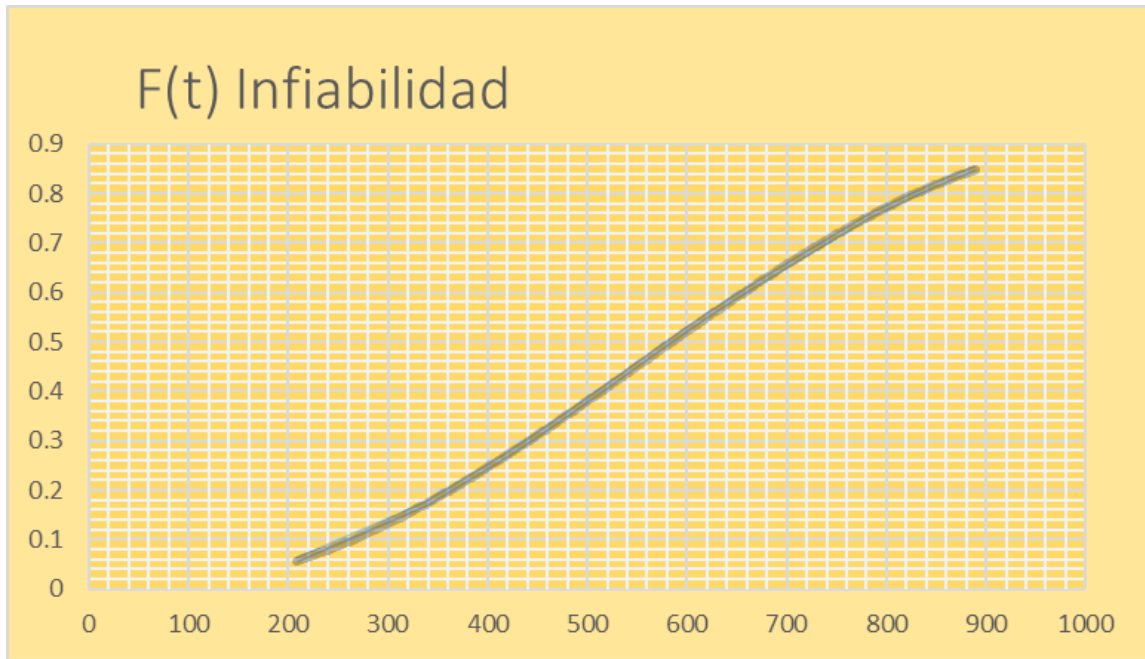
La grafica de fiabilidad nos muestra la evolución de confiabilidad de acuerdo al transcurso del tiempo podemos notar que para un tiempo de vida mínima la confiabilidad representa el 100% que esta próxima a las 200 horas en cambio para una confiabilidad cercana a cero el tiempo es cercana a las 900 horas en donde es inexistente la confiabilidad como podemos observar en la gráfica.

Figura N° 24: Grafica Confiabilidad Sellos



Elaboración propia

Figura N° 25: Grafica Confiabilidad Sellos



Elaboración propia



V. CONCLUSIONES

1. Se ha realizado el diagnóstico de la situación actual de la chancadora MP 1000, este se realizó a través del análisis del factor de estado con lo cual se ha descrito el estado real del equipo que se encuentra plenamente operativo es decir en funcionamiento.
2. De acuerdo a el procedimiento planteado y teniendo en consideración los sub sistemas y elementos identificados de la chancadora de cono MP 1000; se realizó el análisis de modo y efectos de falla (FMEA), de lo cual se realizó el análisis de criticidad teniendo como resultados siguientes que los elementos críticos de la chancadora MP 1000 son los cojinetes y el sistema de sellos, a los que se ha planteado determinar los intervalos de mantenimiento preventivo con el objetivo de incrementar la confiabilidad y disponibilidad de la chancadora.
3. Se ha establecido los intervalos de mantenimiento preventivo que se aplican para los elementos críticos utilizando la metodología de Weibull teniendo lo siguiente:
Para los cojinetes tenemos el siguiente análisis para un tiempo de 350 horas tendríamos una confiabilidad muy aproximada del 70%, que sería el intervalo recomendado para realizar el mantenimiento preventivo; para los sellos un tiempo de 440 horas tendríamos una confiabilidad muy aproximada del 70%, que sería el intervalo recomendado para realizar el mantenimiento preventivo.



VI. RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación podemos recomendar que se implemente los planes de mantenimiento preventivo a los elementos críticos de la chancadora MP 1000 para de esta manera mejorar la disponibilidad y confiabilidad de la operación.

En cuanto a la línea de investigación se debe realizar investigaciones referentes a los costos de la aplicación del mantenimiento preventivo para poder tener una herramienta que ayude a tomar la decisión.



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
- Biolini, 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>
- Calixto, E. (2013). Gas and Oil Reliability Engineering. In *Gas and Oil Reliability*
Engineering. <https://doi.org/10.1016/C2011-0-69838-2>
- Chowdhury, A. A. (2009). *POWER DISTRIBUTION Practical Methods and*
Applications (IEEE Press Editorial Board (ed.); 1°). Published by John Wiley &
Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. www.wiley.com.
- Datsiou, K. C., & Overend, M. (2018). Weibull parameter estimation and goodness-of-
fit for glass strength data. *Structural Safety*, 73, 29–41.
<https://doi.org/10.1016/j.strusafe.2018.02.002>
- 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>
- 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>

KLASIFIKASI, 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.ymssp.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., & 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>
- Selvik, J. T., & Aven, T. (2011). A framework for reliability and risk centered maintenance. *Reliability Engineering and System Safety*, 96(2), 324–331. <https://doi.org/10.1016/j.res.2010.08.001>
- Smith, D. (2011). RELIABILITY, MAINTAINABILITY AND RISK Practical methods for engineers. In Butterworth-Heinemann (Ed.), *Society* (Eighth edi). Elsevier.
- Tavares, L. A. (1996). *Administracion Moderna De Mantenimiento*.
- Yssaad, B., Khiat, M., & Chaker, A. (2012). *Maintenance Optimization for Equipment of Power Distribution System Based on FMECA Method*. 6.
- Zhou, X., Xi, L., & Lee, J. (2007). Reliability-centered predictive maintenance scheduling for a continuously monitored system subject to degradation. *Reliability Engineering and System Safety*, 92(4), 530–534. <https://doi.org/10.1016/j.res.2006.01.006>
- 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
- Biolini, 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>



- Calixto, E. (2013). Gas and Oil Reliability Engineering. In *Gas and Oil Reliability Engineering*. <https://doi.org/10.1016/C2011-0-69838-2>
- Chowdhury, A. A. (2009). *POWER DISTRIBUTION Practical Methods and Applications* (IEEE Press Editorial Board (ed.); 1°). Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. www.wiley.com.
- Datsiou, K. C., & Overend, M. (2018). Weibull parameter estimation and goodness-of-fit for glass strength data. *Structural Safety*, 73, 29–41.
<https://doi.org/10.1016/j.strusafe.2018.02.002>
- 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>
- 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>
- KLASIFIKASI, 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* (1º, 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., & 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.); 1º). 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., Tremps, 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>
- Selvik, J. T., & Aven, T. (2011). A framework for reliability and risk centered



maintenance. *Reliability Engineering and System Safety*, 96(2), 324–331.

<https://doi.org/10.1016/j.res.2010.08.001>

Smith, D. (2011). RELIABILITY, MAINTAINABILITY AND RISK Practical methods for engineers. In Butterworth-Heinemann (Ed.), *Society* (Eighth edi). Elsevier.

Tavares, L. A. (1996). *Administracion Moderna De Mantenimiento*.

Yssaad, B., Khiat, M., & Chaker, A. (2012). *Maintenance Optimization for Equipment of Power Distribution System Based on FMECA Method*. 6.

Zhou, X., Xi, L., & Lee, J. (2007). Reliability-centered predictive maintenance scheduling for a continuously monitored system subject to degradation. *Reliability Engineering and System Safety*, 92(4), 530–534.

<https://doi.org/10.1016/j.res.2006.01.006>



ANEXOS

Anexo A PANEL FOTOGRAFICO

Figura N° 25: Edificio de chancado Pebbles



Elaboración Propia

Figura N° 26: Conjunto de tazón (Bowld)



Elaboración Propia

Figura N° 27: Conjunto cabeza (Head)



Elaboración Propia