

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial

Tesis

**Diseño de un sistema de gestión de mantenimiento preventivo mecánico con la metodología RCM2, para la aplicación en una chancadora cónica MP1000; de una empresa minera cuprífera del sur del Perú, 2020**

Jose Jesus Velasco Yañez  
Ernesto Aguilar Condori

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Industrial

Arequipa, 2021

# ÍNDICE

ASESOR.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
DEDICATORIA .....	iv
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....</b>	<b>3</b>
1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.1 Planteamiento del problema.....	3
1.2 Formulación del problema.....	4
1.2.1 Problema General.....	4
1.2.2 Problemas Específicos .....	5
1.3 Objetivos .....	5
1.3.1 Objetivo General.....	5
1.3.2 Objetivos Específicos .....	5
1.4 Justificación .....	6
1.4.1 Justificación técnica.....	6
1.4.2 Justificación legal.....	6
1.4.3 Justificación económica.....	7
1.5 Importancia de la investigación .....	7
1.6 Delimitación de la investigación.....	7
1.6.1 Delimitación espacial .....	7
1.6.2 Delimitación temporal .....	8
1.6.3 Delimitación social .....	8
1.6.4 Delimitación conceptual.....	8
1.7 Viabilidad de la investigación .....	8
1.8 Hipótesis de la investigación .....	8
1.9 Variables e indicadores .....	8
1.9.1 Variable 1 .....	9
1.9.2 Variable 2 .....	9
1.9.3 Operacionalización de variables .....	9

<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>11</b>
2. Marco teórico y antecedentes .....	11
2.1 Antecedentes de investigación.....	11
2.1.1 Antecedentes Internacionales.....	11
2.1.2 Antecedentes Nacionales .....	13
2.1.3 Antecedentes Locales .....	16
2.2 Bases teóricas.....	18
2.2.1 Sistema de gestión de mantenimiento .....	18
2.2.2 Principales objetivos de la gestión de mantenimiento .....	19
2.2.3 Diseño del Plan de Mantenimiento .....	19
2.2.4 Etapas de un sistema de gestión .....	24
2.2.5 Mantenimiento preventivo mecánico.....	25
2.2.6 Metodología RCM – Mantenimiento centrado en la confiabilidad.....	26
2.2.7 Auditoría basada en la metodología del sistema de Marshall Institute de EEUU .....	32
2.2.8 Empresa Concentradora de Cobre del sur.....	37
2.2.9 Chancado.....	39
2.2.10 Descripción del proceso de chancado .....	39
2.2.11 Descripción de los equipos .....	40
2.2.12 Chancadora Cónica MP100.....	40
2.2.13 Sistemas Principales de la Chancadora.....	41
2.3 La distribución de Weibull.....	45
2.3.1 El parámetro de forma ( $\beta$ ).....	46
2.3.2 El parámetro de escala ( $\eta, \alpha$ ).....	47
2.3.3 El parámetro de localización o umbral ( $\gamma$ ) .....	48
2.3.4 Distribuciones de probabilidad .....	49
2.4 Definición de términos básicos.....	51
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....</b>	<b>54</b>
3. METODOLOGÍA Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN .....	54
3.1 Método, y alcance de la investigación .....	54
3.2 Diseño de investigación .....	54
3.3 Población y muestra.....	55
3.3.1 Población.....	55
3.3.2 Muestra .....	55

3.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	55
3.4.1	Técnicas.....	55
3.4.2	Instrumentos.....	55
3.4.3	Fichas de auditoría según la metodología del Marshall Institute de EE.UU. ....	55
3.4.4	Tabla de análisis de criticidad de equipos y sistemas .....	64
3.4.5	Aplicación de metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM2 .....	67
3.4.6	Análisis de distribución de Weibull.....	71
3.4.7	Procedimiento de distribución de Weibull .....	73
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>		<b>76</b>
4.	RESULTADOS DEL TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	76
4.1	Auditoría del mantenimiento del área de chancado .....	76
4.1.1	Recursos de la dirección.....	76
4.1.2	Información de la dirección .....	78
4.1.3	Mantenimiento preventivo (MP) y tecnología del equipo .....	80
4.1.4	Planificación y programación .....	82
4.1.5	Soporte de mantenimiento.....	84
4.1.6	Resultado de la auditoría del mantenimiento del área de chancado .....	86
4.1.7	Parámetros de productividad .....	87
4.1.8	Evaluación de programa de mantenimiento .....	90
4.1.9	Análisis de criticidad basado en el riesgo .....	92
4.1.10	Análisis AMEF y elaboración de planes de mantenimiento .....	101
4.2	Resultados de distribución Weibull.....	144
4.2.1	Análisis Weibull de 20 datos (Data histórica) .....	144
4.2.2	Análisis Weibull de 32 datos (Data histórica más aplicación de planes de mantenimiento).....	147
4.3	Discusión de resultados .....	151
CONCLUSIONES .....		154
RECOMENDACIONES.....		156
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		158
ANEXOS.....		162

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Operacionalización de variables .....	9
Tabla 2.	Áreas de evaluación en la encuesta de la auditoría de mantenimiento .....	57
Tabla 3.	Parámetros de producción .....	61
Tabla 4.	Ítems de evaluación de programa de mantenimiento .....	63
Tabla 5.	Tabla para evaluación de criticidad de equipos de la planta .....	66
Tabla 6.	Tabla para evaluación de probabilidad de falla .....	67
Tabla 7.	Cartilla de desarrollo de AMEF .....	68
Tabla 8.	Cartilla de decisión del RCM.....	70
Tabla 9.	Datos históricos de elementos de desgaste de chancadora MP1000 .....	71
Tabla 10.	Datos históricos de elementos de desgaste de chancadora MP1000, ordenado y convertidos a horas .....	72
Tabla 11.	Recursos de dirección .....	77
Tabla 12.	Información de la dirección .....	79
Tabla 13.	Mantenimiento preventivo (MP) y tecnología del equipo .....	81
Tabla 14.	Planificación y programación .....	83
Tabla 15.	Soporte de mantenimiento.....	85
Tabla 16.	Resumen de efectividad de mantenimiento .....	86
Tabla 17.	Parámetros de productividad .....	89
Tabla 18.	Resultado de evaluación de 15 ítems del programa de mantenimiento ....	91
Tabla 19.	Formación inicial del equipo natural de trabajo .....	92
Tabla 20.	Criterio de clasificación en función al valor final de criticidad .....	94
Tabla 21.	Resumen de criticidad de los sistemas del área de chancado .....	95
Tabla 22.	Criticidad de chancadoras MP1000 .....	96
Tabla 23.	Ficha de Taxonomía de la chancadora MP1000 (sistemas y subsistemas) .....	98
Tabla 24.	Criticidad de sistemas de chancadoras MP1000.....	99
Tabla 25.	Criticidad de sub sistemas de unidad de chancado de la chancadora MP1000 .....	100
Tabla 26.	Descripción de propósito .....	101
Tabla 27.	Ficha técnica del equipo .....	102
Tabla 28.	Alarmar y dispositivos de seguridad de sistemas-subsistemas de chancadora MP1000.....	103
Tabla 29.	Objetivos y políticas generales del proceso productivo .....	104

Tabla 30.	Condición operacional de la chancadora MP1000 .....	105
Tabla 31.	Funciones de ejecución de sistemas, subsistemas y componentes .....	105
Tabla 32.	Fallas funcionales de sistemas, subsistemas y componentes .....	106
Tabla 33.	Modos de falla de sistemas, subsistemas o componentes .....	107
Tabla 34.	Efectos de modos de falla de sistemas, subsistemas o componentes ....	108
Tabla 35.	Severidad de NPR .....	113
Tabla 36.	Ocurrencia de NPR.....	114
Tabla 37.	Detección de NPR .....	115
Tabla 38.	Resultados de criticidad de NPR .....	116
Tabla 39.	Características de clasificación de NPR .....	117
Tabla 40.	Resumen de clasificación de modos de fallas según puntuación NPR ...	117
Tabla 41.	Porcentaje de clasificación de modos de falla por valor NPR .....	118
Tabla 42.	Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad con aplicación de la hoja de decisión.....	120
Tabla 43.	Costo por hora sin operación de plantas.....	121
Tabla 44.	Costo por hora sin operación de equipos unitarios .....	122
Tabla 45.	Plan de mantenimiento preventivo de chancadora MP1000 .....	124
Tabla 46.	Plan de mantenimiento de lubricación de chancadora MP1000 .....	130
Tabla 47.	Plan de mantenimiento de inspección de chancadora MP1000 .....	133
Tabla 48.	Plan de mantenimiento predictivo de chancadora MP1000.....	139
Tabla 49.	Datos históricos (20 ítems) de elementos de desgaste de chancadora MP1000. (2018 –2019). .....	145
Tabla 50.	Resumen de valor de parámetros de Weibull (2 parámetros) .....	146
Tabla 51.	Resultados de indicadores con los valores parámetros de Weibull .....	147
Tabla 52.	Datos históricos (32 ítems) de elementos de desgaste de chancadora MP1000. (2018 –2021). .....	148
Tabla 53.	Resumen de valor de parámetros de Weibull (2 parámetros) .....	149
Tabla 54.	Resultados de indicadores con los valores parámetros de Weibull .....	150
Tabla 55.	Parametrización de variables.....	163

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Modelo de la gestión del mantenimiento.....	25
Figura 2.	Preguntas del RCM2. ....	28
Figura 3.	Equipo natural de trabajo para desarrollar AMEF. ....	29
Figura 4.	Las siete preguntas del RCM.....	30
Figura 5.	Esquema para conducir el RCM. ....	31
Figura 6.	Contexto operacional.....	31
Figura 7.	Planta concentradora.....	38
Figura 8.	Diagrama de flujo de planta concentradora.....	39
Figura 9.	Partes de la chancadora cónica.....	41
Figura 10.	Diagrama de flujo de chancado secundario y terciario.....	41
Figura 11.	Partes de conjunto de excéntrica de chancadora cónica. ....	42
Figura 12.	Partes del conjunto de cabeza de la chancadora cónica.....	42
Figura 13.	Partes del sistema de lubricación de la chancadora cónica. ....	43
Figura 14.	Partes del sistema de hidráulico de la chancadora cónica. ....	44
Figura 15.	Funcionamiento de la chancadora cónica secundaria.....	45
Figura 16.	Curva de la bañera. ....	46
Figura 17.	Parámetro de forma.....	47
Figura 18.	Parámetro de escala.....	48
Figura 19.	Parámetro de localización o umbral. ....	49
Figura 20.	Función de Densidad de Probabilidad. ....	49
Figura 21.	Función de Distribución Acumulada.....	50
Figura 22.	Función de Confiabilidad. ....	50
Figura 23.	Función de Riesgo.....	51
Figura 24.	Radar de ítems de programa de mantenimiento.....	64
Figura 25.	Diagrama de decisión del RCM2 ....	69
Figura 26.	Captura de selección de gráfica de revisión general de distribución. ....	73
Figura 27.	Captura de selección de distribución de Weibull. ....	74
Figura 28.	Captura de valores de parámetros y gráficas de distribución de Weibull. .	74
Figura 29.	Distribuciones estadísticas, para variables aleatorias continuas. ....	75
Figura 30.	Recursos de dirección (promedio general 2.64).....	78
Figura 31.	Información de la dirección (promedio general 2.61) ....	80
Figura 32.	Mantenimiento preventivo (MP) y tecnología de la producción (promedio general 2.53) .....	82

Figura 33. Planificación y programación (promedio general 2.75).....	84
Figura 34. Soporte de mantenimiento (promedio general 2.53) .....	86
Figura 35. Promedio general de las áreas de la efectividad de mantenimiento.....	87
Figura 36. Gráfico de radar de los resultados de los 15 ítems de programa de mantenimiento .....	92
Figura 37. Delimitación del área de chancado para la evaluación de criticidad.....	93
Figura 38. Resumen de criticidad de los sistemas del área de chancado .....	95
Figura 39. Valorización de criticidad de los sistemas de la chancadora MP1000.....	100
Figura 40. Valorización de criticidad de los sub sistemas de la unidad de chancado de la chancadora MP1000.....	101
Figura 41. Diagrama de EPS del área de chancado .....	102
Figura 42. Representación gráfica de valores NPR .....	119
Figura 43. Resultados de parámetros y gráficas de distribución “Software Minitab19”.....	146
Figura 44. Resultados de parámetros y gráficas de distribución “Software Minitab19”.....	149



## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación, fue diseñar un sistema de gestión de mantenimiento preventivo mecánico, para la aplicación en una chancadora cónica MP1000. Por ello, la Investigación utilizó un diseño no experimental, de tipo básico, de nivel descriptivo con propuesta y de corte transversal. Las unidades de observación fueron diez chancadoras cónicas MP1000/HP700 de una empresa minera cuprífera del sur del Perú, operativas hasta junio del año 2020. El muestreo fue de tipo no probabilístico e intencionado. Se utilizó la técnica de observación documental de datos provenientes de las operaciones de mantenimiento PETS, manuales e historiales de falla de la chancadora y como instrumentos: fichas de recolección de datos de las fuentes mencionadas. Los resultados de la auditoría manifestaron que el área de mayor puntaje fue planificación y programación; mientras que las de menor puntaje y que requieren mayor atención son: el área de mantenimiento preventivo y tecnología del equipo, y el área de soporte del equipo. El análisis de criticidad de los sistemas de chancado mostró que el 30% de los sistemas evaluados tienen una criticidad de tipo “A” (Críticos), el 21% poseen una criticidad de tipo “B” (Semicríticos) y el 49% tienen una criticidad de tipo “C” (No críticos). Las chancadoras cónicas MP1000 son equipos críticos; y requieren un mantenimiento enfocado en la metodología del RCM2 y AMEF.

El análisis de criticidad de los sistemas de la Chancadora MP1000 mostró que: dos sistemas son de criticidad A (Críticos), tres sistemas son de criticidad B (Semicríticos), y tres sistemas son de criticidad C (No críticos). Se tiene mayor criticidad en los sistemas de la unidad de chancado y sistema de poder. Los subsistemas de la unidad de chancado con mayor criticidad son: los forros y el main shaft. Se diseñó un sistema de gestión de mantenimiento con la metodología RCM2 para la aplicación en la Chancadora Cónica MP1000 apoyados en la elaboración de planes con disciplinas de mantenimiento preventivo, lubricación, inspección y predictivo. Cada plan está subdividido por sistemas y cada sistema contiene tareas con especialidades diferentes.

Finalmente, la investigación concluyó que, se diseñó un sistema de gestión de mantenimiento inicial con aplicación de: una auditoría, que identificó los puntos a mejorar en el área de mantenimiento de chancado; el análisis de criticidad, que clasificó a los equipos; y el desarrollo de la propuesta de nuevas estrategias y tareas de mantenimiento mediante la aplicación de la metodología RCM2 y desarrollo del AMEF y el análisis de confiabilidad y disponibilidad por la distribución de Weibull.

**Palabras Claves:** Diseño, sistema de gestión, mantenimiento preventivo, metodología RCM2, AMEF, WEIBULL, chancadora cónica, empresa minera cuprífera.

## ABSTRACT

The objective of the present investigation was to design a mechanical preventive maintenance management system for the application in a MP1000 conical crusher. For this reason, the Research used a non-experimental design, of a basic type, of a descriptive level with proposal and a cross-sectional section. The observation units were ten MP1000 / HP700 conical crushers from a copper mining company in southern Peru, operational until June 2020. The sampling was non-probabilistic and intentional. The documentary observation technique of proven data from PETS maintenance operations, manuals and crusher failure histories was used, and as instruments: data collection sheets from the mentioned sources. The results of the audit showed that the area with the highest score was planning and programming; while those with the lowest score and that require more attention are: the area of preventive maintenance and equipment technology, and the area of equipment support. The criticality analysis of the crushing systems showed that 30% of the evaluated systems have a criticality of type "A" (Critical), 21% have a criticality of type "B" (Semicritic) and 49% have a type "C" criticality (Non-critical).

The MP1000 cone crushers are critical equipment; and requires maintenance focused on the RCM2 and FMEA methodology. The criticality analysis of the systems of the MP1000 Crusher showed that: two systems are criticality A (Critical), three systems are criticality B (Semicritic), and three systems are criticality C (Non-critical). There is greater criticality in the systems of the crushing unit and power system. The most critical subsystems of the crushing unit are: the linings and the main shaft. A maintenance management system was designed with the RCM2 methodology for application in the MP1000 Conical Crusher, supported by the preparation of plans with preventive, lubrication, inspection and predictive maintenance disciplines. Each plan is subdivided by systems and each system contains tasks with different specialties.

Finally, the investigation concluded that an initial maintenance management system was designed with application of: an audit, which identified the points to improve in the crushing maintenance area; criticality analysis, which classified the teams; and the development of the proposed new strategies and maintenance tasks through the application of the RCM2 methodology and the development of the FMEA, and the analysis of reliability and availability by the Weibull distribution.

**Keywords:** Design, management system, preventive maintenance, RCM2 methodology, FMEA, WEIBULL, cone crusher, copper mining company.