

## Índice.

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes y motivación.....	2
1.2. Descripción del problema.....	3
1.3. Solución Propuesta.....	4
1.4. Objetivos y alcances del proyecto.....	5
1.4.1. Objetivo General.....	5
1.4.2. Objetivos específicos.....	5
1.4.3. Alcances.....	5
1.5. Metodologías y herramientas utilizadas.....	6
1.6. Resultados esperados.....	6
1.7. Organización del documento.....	7
CAPÍTULO II ASPECTOS TEÓRICOS .....	8
2.1. Sistema de información del mantenimiento (SIM).....	9
2.1.1. Criterios para la informatización de la gestión del mantenimiento.....	10
2.1.2. Componentes del SIM.....	11
2.2. Mantenimiento.....	12
2.2.1. Definiciones generales sobre mantenimiento.....	12
2.2.2. Mantenimiento preventivo.....	13
2.3. Análisis de fallas.....	14
2.3.1. Fallas funcionales.....	14
2.3.2. Modos de fallas.....	14
2.3.3. Efectos de la falla.....	14
2.3.4. Consecuencias de la falla.....	15
2.3.5. Análisis de los modos de falla, efectos y criticidad (FMECA).....	15

CAPÍTULO III DESCRIPCIÓN DEL PROCESO Y EQUIPO DE MOLIENDA .....	18
3.1. Descripción general de operación en MVC.....	19
3.2. Descripción del proceso de molienda.....	20
3.3. Descripción de la maquinaria principal ejecutante del proceso de molienda.....	22
3.3.1. Molinos de bolas.....	22
3.3.2. Estructura contenedora .....	23
3.3.3. Sistema motriz.....	25
3.3.4. Lubricación.....	26
3.4. Descripción de molinos operando.....	27
3.4.1. Molienda A.....	28
3.4.2. Molienda B.....	29
3.4.3. Remolienda.....	30
CAPÍTULO IV DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ACTUAL.....	31
4.1. Introducción.....	32
4.2. Auditoría interna, área de mantenimiento mecánico MVC.....	33
4.2.1. Identificación.....	33
4.2.2. Criticidad de rutas de inspección.....	33
4.2.3. Manejo de la información.....	33
4.2.4. Mantenimiento actual.....	33
4.2.5. Manejo de costos.....	33
4.2.6. Efectividad del mantenimiento.....	34
4.3. Análisis de resultados generales.....	34
4.4. Análisis de resultados para cada ítem.....	36
4.4. Resumen de resultados obtenidos.....	41

CAPÍTULO V DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN DEL MANTENIMIENTO (SIM). .....	42
5.1. Introducción.....	43
5.2. Contextualización del problema. ....	43
5.2.1. Tipo de función.....	43
5.2.2. Ámbito que cubre la función. ....	44
5.2.3. Entradas y salidas. ....	45
5.2.4. Funciones relacionadas fuera del ámbito.....	46
5.2.5. Procesos afectados por la función.....	47
5.2.6. Recursos actualmente utilizados.....	48
5.2.7. Diagnóstico de la situación actual. ....	48
5.3. Resumen gráfico. ....	48
5.4. Diseño lógico global. ....	50
5.4.1. Modelos. ....	50
5.4.2. Metodología general. ....	50
5.4.3. Descomposición de las entradas y salidas. ....	51
5.4.4. Generación de malla y descomposición de funciones. ....	52
5.4.5. Primera descomposición de la función principal.....	54
5.5. Documentación necesaria para el sistema. ....	63
5.5.1. Reporte de fallas. ....	64
5.5.2. Orden de trabajo. ....	66
5.5.3. Requisición de compra. ....	68
5.5.4. Orden de compra.....	70
5.5.5. Solicitud de materiales y repuestos.....	72
5.5.6. Tarjeta de activos.....	74

5.5.7. Hojas de inspección.....	76
5.5.8. Hoja de vida del equipo.....	78
5.5.9. Hoja de control para bodega.....	80
5.5.10. Informe de indicadores de eficiencia.....	82
5.6. Lineamientos para flujos de información.....	83
5.6.1. Lineamientos de información para el proceso de mantenimiento.....	85
5.6.2. Lineamiento general para subcontrataciones y adquisiciones.....	86
5.6.3. Lineamiento general para una solicitud de repuestos y materiales.....	89
5.7. Análisis de resultados obtenidos.....	91
<b>CAPÍTULO VI ANÁLISIS DE FALLAS POR FMECA .....</b>	<b>92</b>
6.1. Introducción.....	93
6.2. Análisis de modos de fallas, efectos y criticidad.....	94
6.2.1. Definición de la intención de diseño: .....	94
6.2.2. Análisis funcional: .....	94
6.2.3. Identificación de Modos de falla: .....	95
6.2.4. Efectos y consecuencias de la falla:.....	95
6.2.5. Evaluación por índice de riesgo:.....	95
6.3. Tablas resúmenes de análisis FMECA.....	98
6.3.1. FMECA Estructura contenedora.....	98
6.3.2. FMECA sistema motriz.....	101
6.3.4. FMECA Lubricación hidrostática.....	111
6.3.5. FMECA Sistema de lubricación por spray.....	116
Análisis de sistema de lubricación por spray.....	116
6.4. Análisis de resultados.....	122
<b>CAPÍTULO VII PLAN DE MANTENIMIENTO .....</b>	<b>125</b>

7.1. Planeación del mantenimiento.....	126
7.1.1. Decisión de tareas de mantenimiento. ....	126
7.1.2. Inspección preventiva del equipo. ....	128
7.2. Plan de mantenimiento preventivo. ....	131
7.2.1. Descripción de labores principales. ....	132
7.3. Alineamiento del sistema.....	144
7.4. Planificación Gantt para mantenimiento general.....	148
CAPÍTULO VIII CONCLUSIONES .....	153
8.1.Conclusiones.....	154
CAPÍTULO IX BIBLIOGRAFIA .....	159
9.1. Bibliografía.....	160

**Índice de figuras.**

Figura 1: Ubicación de las plantas de molienda (Fuente: Google Maps).....	22
Figura 2: Configuración de molienda disponible. ....	23
Figura 3: Esquema referencial de componentes de un molino de bolas.....	25
Figura 4: Definición gráfica del problema (Fuente: Propia). ....	49
Figura 5: Entradas a la gestión de mantenimiento (Fuente: Propia).....	51
Figura 6: Salidas a la gestión de mantenimiento (Fuente: Propia). ....	51
Figura 7: Malla de funciones gestión de mantenimiento (Fuente: Propia).....	54
Figura 8: Primera partición, función gestión de mantenimiento (Fuente: Propia). ....	54
Figura9: Segunda partición sub-función “Gestión de reparaciones y actividades de mantenimiento” (Fuente: Propia). ....	56
Figura10: Segunda partición sub-función “Planeación del mantenimiento” (Fuente: Propia).....	57
Figura 11: Segunda partición “Gestión de repuestos y materiales” (Fuente: Propia). ....	58
Figura12: Segunda partición sub-función “Recopilación de documentación técnica” (Fuente: Propia). ....	59

Figura13: Segunda partición sub-función “Control de la gestión de mantenimiento” (Fuente: Propia). .....	60
Figura 14: Segunda partición sub-función “Control de tercerización” (Fuente: Propia). ....	61
Figura15: Segunda partición sub-función “Gestión de recursos humanos” (Fuente: Propia). .....	62
Figura 16: Procedimiento “Manejo del mantenimiento” (Fuente: Propia). .....	86
Figura 17: Lineamiento para una adquisición de bienes y/o servicios (Fuente: Propia). .....	88
Figura 18: Lineamiento para una Solicitud de repuestos y materiales (Fuente: Propia). .....	90
Figura 19: Catastro de revestimientos molienda A. ....	133
Figura 20: Descanso lado alimentación MR01 (Fuente: Propia). ....	133
Figura 21: Descanso lado descarga MR01 (Fuente: Propia). .....	133
Figura23: Compresión de zapatas de fricción hacia el muñón (Fuente: Manual Gummi). .....	135
Figura 22: Esquema de accionamiento embrague (Fuente: Manual Gummi). .....	135
Figura 24: Pitting en piñón (contraeje) (Fuente: Propia). .....	137
Figura 25: Sistema de lubricación de muñones (Fuente: Manual Metso Minerals). .....	139
Figura 26: Diagrama de lubricación por pulverización (Fuente: Manual LINCOLN). ....	143
Figura 27: Esquema del sistema de pulverización (Fuente: Manual LINCOLN). .....	143
Figura 28: Medición de Back Lash y Contact Lash. ....	145
Figura 29: Engrane correcto (1...this,2...Or This). ....	145
Figura 30: Planificación general parada de planta (Fuente: Propia). ....	149
Figura 31: Planificación para parada de planta parte 2 (Fuente: Propia). ....	149
Figura 32: Planificación para parada de planta parte 3 (Fuente: Propia). ....	150
Figura 33: Planificación para parada de planta parte 4 (Fuente: Propia). ....	150
Figura 34: Planificación para parada de planta parte 5 (Fuente: Propia). ....	151
Figura 35: Planificación para parada de planta parte 6 (Fuente: Propia). ....	151
Figura 36: Planificación para parada de planta parte 7 (Fuente: Propia). ....	152

## **Índice de documentos.**

Documento 1: Reporte de fallas (Fuente: Propia). .....	65
Documento 2: Orden de trabajo (Fuente: Propia). .....	67
Documento 3: Requisición de compra (Fuente: Propia). .....	69
Documento 4: Orden de compra (Fuente: Propia). .....	71
Documento 5: Solicitud de repuestos y/o materiales (Fuente: Propia). .....	73
Documento 6: Tarjeta de activos (Fuente: Propia). .....	75
Documento 7: Hoja de inspección del equipo (Fuente: Propia). .....	77
Documento 8: Hoja de vida del equipo (Fuente: Propia). .....	79
Documento 9: Hoja de control para bodega (Fuente: Propia). .....	81

## **Índice de tablas.**

Tabla 1: Descripción de planta de molienda A (Fuente: Propia). .....	28
Tabla 2: Descripción de planta de molienda B (Fuente: Propia). .....	29
Tabla 3: Descripción de planta de remolienda (Fuente: Propia). .....	30
Tabla 4: Rangos de evaluación para auditoría. ....	32
Tabla 5: Identificación (Fuente: Propia). .....	34
Tabla 6: Resultados generales auditoría (Fuente: Propia). .....	35
Tabla 7: Resultados criticidad de rutas de inspección (Fuente: Propia). .....	36
Tabla 8: Resultados de manejo de información de equipos (Fuente: Propia). .....	37
Tabla 9: Resultados de mantenimiento actual (Fuente: Propia). .....	38
Tabla 10: Resultados costos de mantenimiento (Fuente: Propia). .....	39
Tabla 11: Resultados efectividad del mantenimiento (Fuente: Propia). .....	40
Tabla 12: Tiempos perdidos en equipos .....	82
Tabla 13: Simbología de diagramas (Fuente: Propia). .....	84
Tabla 14: Severidad de los efectos. ....	96
Tabla 15: Probabilidad de ocurrencia. ....	96
Tabla 16: Probabilidad de detección. ....	97
Tabla 17: Análisis funcional para estructura contenedora (Fuente: Propia). .....	98
Tabla 18: FMECA – Estructura Contenedora (Fuente: Propia). .....	98
Tabla 19: FMECA - Estructura contenedora parte 1 (Fuente: Propia). .....	99

Tabla 20: FMECA Estructura contenedora, parte 2 (Fuente: Propia). .....	99
Tabla 21: FMECA Estructura contenedora, parte 3 (Fuente: Propia). .....	100
Tabla 22: FMECA Estructura contenedora, parte 4 (Fuente: Propia). .....	100
Tabla 23: FMECA Estructura contenedora, parte 5 (Fuente: Propia). .....	101
Tabla 24: Análisis funcional del sistema motriz (Fuente: Propia). .....	101
Tabla 25: FMECA Sistema motriz (Fuente: Propia). .....	102
Tabla 26: FMECA Sistema motriz parte 2 (Fuente: Propia). .....	103
Tabla 27: FMECA Sistema motriz parte 3 (Fuente: Propia). .....	103
Tabla 28: FMECA Sistema motriz parte 4 (Fuente: Propia). .....	104
Tabla 29: FMECA Sistema motriz parte 5 (Fuente: Propia). .....	104
Tabla 30: FMECA Sistema motriz parte 6 (Fuente: Propia). .....	105
Tabla 31: FMECA Sistema motriz parte 7 (Fuente: Propia). .....	106
Tabla 32: FMECA Sistema motriz parte 8 (Fuente: Propia). .....	107
Tabla 33: FMECA Sistema motriz parte 9 (Fuente: Propia). .....	108
Tabla 34: FMECA Sistema motriz parte 10 (Fuente: Propia). .....	108
Tabla 35: Análisis funcional sistema de lubricación hidrodinámica (Fuente: Propia). .....	109
Tabla 36: FMECA Sistema de lubricación hidrodinámica (Fuente: Propia). .....	109
Tabla 37: FMECA Sistema de lubricación hidrodinámica, parte 1 (Fuente: Propia). .....	110
Tabla 38: FMECA Sistema de lubricación hidrodinámica, parte 2 (Fuente: Propia). .....	110
Tabla 39: FMECA Sistema de lubricación hidrodinámica, parte 3 (Fuente: Propia). .....	111
Tabla 40: Análisis funcional, lubricación hidrostática (Fuente: Propia). .....	111
Tabla 41: FMECA Sistema de lubricación hidrostática (Fuente: Propia). .....	112
Tabla 42: FMECA Sistema de lubricación hidrostática, parte 2 (Fuente: Propia). .....	113
Tabla 43: FMECA Sistema de lubricación hidrostática parte 3 (Fuente: Propia). .....	114
Tabla 44: FMECA Sistema de lubricación hidrostática parte 4 (Fuente: Propia). .....	115
Tabla 45: Análisis de sistema de lubricación por spray (Fuente: Propia). .....	116
Tabla 46: FMECA Sistema de lubricación por spray, parte 1 (Fuente: Propia). .....	116
Tabla 47: FMECA Sistema de lubricación por spray, parte 2 (Fuente: Propia). .....	117
Tabla 48: FMECA Sistema de lubricación por spray parte 3 (Fuente: Propia). .....	117
Tabla 49: FMECA Sistema de lubricación por spray, parte 4 (Fuente: Propia). .....	118
Tabla 50: FMECA Sistema de lubricación por spray, parte 5 (Fuente: Propia). .....	119



Tabla 51 FMECA Sistema de lubricación por spray, parte 6 (Fuente: Propia).....	119
Tabla 52 FMECA Sistema de lubricación por spray, parte 7 (Fuente: Propia).....	120
Tabla 53: FMECA Sistema de lubricación por spray, parte 8 (Fuente: Propia).....	121
Tabla 54: Resumen de evaluación del riesgo. ....	123
Tabla 55: Decisión de tareas de mantenimiento.....	127
Tabla 56: Inspecciones mecánicas diarias, parte 1.....	128
Tabla 57: Inspecciones mecánicas diarias, parte 2.....	129
Tabla 58: Inspecciones mecánicas semanales.....	130
Tabla 59: Inspecciones mecánicas trimestrales.....	130
Tabla 60: Inspecciones mecánicas anuales.....	131
Tabla 61: Detalle de embragues por equipo (Fuente: Propia).....	136
Tabla 62: Valores para mantenimiento sistema de lubricación (Fuente: Manual Metso Minerals).....	142
Tabla 63: Alineación Contraeje MP06 (Fuente: Dpto. de Mantenimiento).....	147

### **Índice de ecuaciones.**

Ecuación 1: Índice de riesgo.....	17
Ecuación 2: Índice de confianza del equipo.....	83
Ecuación 3: Índice de acceso al equipamiento.....	83
Ecuación 4: Índice de seguridad del equipamiento.....	83
Ecuación 5: Índice de eficiencia de mantenimiento.....	83
Ecuación 6: Índice global.....	83
Ecuación 7: Índice no crítico.....	122
Ecuación 8: Índice semi – crítico.....	122
Ecuación 9: Índice Crítico.....	122

### **Índice de gráficos.**

Gráfico 1: Resultados generales auditoria (fuente propia).....	35
Gráfico 2: Detalle criticidad ruta de inspección (fuente propia).....	36
Gráfico 3: Detalle manejo de información (fuente propia).....	37
Gráfico 4: Detalle de mantenimiento actual (fuente propia).....	38

Gráfico 5: Detalles costo mantenimiento (fuente propia). .....	39
Gráfico 6: Detalles efectividad del mantenimiento (fuente propia). .....	40

## **CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN**