

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LA
PLANTA DE ÁRIDOS CUELLAR EN LA CIUDAD DE TARIJA**

POR:

MARTINEZ ROMERO MARIA FERNANDA

**Proyecto de Grado presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado
académico de Licenciatura en Ingeniería Industrial.**

Diciembre de 2025

TARIJA – BOLIVIA

V°B°

M.Sc Ing. Marcelo Segovia Cortez

DECANO DE LA FACULTADA
DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

M.Sc Ing. Fernando E. Cortez Michel

VICEDECANO FACULTADA
DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

M.Sc Ing. Emmy A. Alfaro Murillo

DIRECTORA DE LA CARRERA
DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

APROBADA POR:

TRIBUNAL:

Ing. Olga A. Mercado Cordero

Ing. Maria Fernanda Maraz

Ing. Ismael G. Castillo García

Advertencia

El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo éstas responsabilidad del autor.

Dedicatoria

Dedico este trabajo primero que nada a Dios por ser mi guía y mi refugio, a mis compañeros de vida de cuatro patas, cuya presencia constante alivió cada jornada de esfuerzo; a mi perro y mis gatos, por su compañía silenciosa y luminosa, y muy especialmente a Yongui, que con su sola existencia me recordó la importancia de la calma y la perseverancia. Extiendo esta dedicatoria a mi familia, a mis padres Victoria Romero y Weimar Martinez y a mis hermanas Ángela y Cecilia Martinez, cuyo apoyo discreto acompañó cada etapa de mi camino. Y finalmente, me la dedico a mí misma, por no rendirme, por sostener mis metas aun en la duda y por demostrarme que soy capaz de alcanzar aquello que sueño.

Agradecimiento

Agradezco a mi familia por su apoyo en cada etapa de este camino, por haber estado presente en los momentos oportunos y por brindarme su acompañamiento que fue profundamente valioso y aprecio sinceramente. Extiendo también mi gratitud a mis amigos, cuya compañía, escucha y cariño hicieron que el trayecto fuera más llevadero y menos pesado. A mis docentes, gracias por su guía y orientación, fundamentales para avanzar con claridad y alcanzar las metas propuestas. Finalmente, expreso mi agradecimiento a la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente y permitirme desarrollar las capacidades que hoy se reflejan en este proyecto.

Pensamiento

“La resiliencia es la fuerza silenciosa que transforma cada caída en un nuevo comienzo y cada obstáculo en una oportunidad para crecer. Never give up.”

ÍNDICE

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1.	Antecedentes	1
1.1.1.	Antecedentes teóricos.....	1
1.1.2.	Antecedentes de campo.....	1
1.1.3.	Antecedentes empresariales	2
1.2.	Descripción del problema u oportunidad	3
1.2.1.	Árbol de Problemas.....	5
1.2.2.	Formulación de pregunta.....	7
1.2.3.	Árbol de Soluciones	7
1.3.	Objetivos	9
1.3.1.	Objetivo General	9
1.3.2.	Objetivos Específicos.....	9
1.4.	Justificación.....	9
1.4.1.	Justificación Académica.....	9
1.4.2.	Justificación Técnica.....	10
1.4.3.	Justificación Legal	10
1.4.4.	Justificación Económica.....	10
1.4.5.	Justificación Personal.....	11
1.5.	Metodología	11
1.5.1.	Enfoque y tipo de investigación.....	11
1.5.2.	Métodos y técnicas de investigación.....	12
1.5.3.	Población o sujeto de estudio.....	12
1.5.4.	Tipo de muestreo	13
1.5.5.	Recolección de información.....	13
1.5.6.	Protocolo de estandarización y calidad de datos operacionales.....	14

CAPÍTULO II: EMPRESA

2.1.	Empresa.....	19
2.2.	Ubicación	20

2.3.	Organización	20
2.4.	Productos y/o servicios	21
2.5.	Maquinaria y Equipo.....	22
2.6.	Materia Prima e Insumos	25
2.7.	Proceso Productivo.....	27
2.7.1.	Descripción del proceso productivo.....	27
2.7.2.	Diagrama de flujo del proceso	28
2.8.	Lay Out.....	29
2.9.	Residuos y/o servicios.....	30

CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO

3.1.	Fundamentos del Mantenimiento Industrial	32
3.1.1.	Definición de Mantenimiento Industrial	32
3.1.2.	Importancia del mantenimiento en plantas de producción de áridos ..	32
3.1.3.	Mantenimiento preventivo	33
3.1.4.	Mantenimiento correctivo	34
3.1.5.	Mantenimiento Lean	35
3.2.	Plan de mantenimiento.....	37
3.2.1.	Planificación y programación del mantenimiento.....	37
3.2.2.	Procedimientos técnicos básicos.....	39
3.2.3.	Gestión de repuestos	39
3.3.	Herramientas de Diagnóstico y Evaluación	41
3.3.1.	Cursograma analítico	41
3.3.2.	Análisis de Pareto.....	41
3.4.	Indicadores de Gestión en Mantenimiento.....	42
3.4.1.	Eficiencia global de los equipos (OEE)	42
3.4.2.	Tiempo medio entre fallas (MTBF)	43
3.4.3.	Tiempo medio para reparar (MTTR)	44
3.5.	Evaluación Económica del Plan de Mantenimiento.....	45
3.5.1.	Costos asociados al mantenimiento	45
3.5.2.	ROI: Retorno sobre la inversión en mantenimiento.....	46
3.6.	Aspectos Normativos y Legales.....	47

3.6.1.	Normas boliviana NB 12017 Sistema de Gestión de Mantenimiento de Activos	47
3.6.2.	Requisitos estructurales del SGM	48
3.6.3.	Sistemas Electrónicos y Software (CMMS/EAM)	49

CAPÍTULO IV: DIAGNÓSTICO

4.1.	Situación actual de la planta de áridos	50
4.1.1.	Diagrama de flujo combinado	50
4.1.2.	Cursograma analítico actual de averías en condiciones normales	51
4.1.3.	Cursograma analítico de averías en condiciones críticas	53
4.2.	Identificación de la situación actual de averías habituales	55
4.3.	Selección de los equipos críticos	56
4.3.1.	Datos de los equipos	56
4.4.	Selección de equipos críticos mediante el diagrama de Pareto	62
4.5.	Descripción de los equipos seleccionados	64
4.6.	Cursograma analítico del proceso de mantenimiento	67
4.6.1.	Criba vibratoria de tres niveles	67
4.6.2.	Molino de impacto	69
4.6.3.	Cinta transportadora	71
4.7.	Descripción del proceso de mantenimiento actual de los equipos críticos ..	72
4.7.1.	Proceso de mantenimiento de la criba de tres niveles	72
4.7.2.	Diagrama de flujo del proceso de mantenimiento de la criba de tres niveles	75
4.7.3.	Proceso de mantenimiento del molino de impacto	77
4.7.4.	Diagrama de flujo del proceso de mantenimiento del molino de impacto	79
4.7.5.	Proceso de mantenimiento la cinta transportadora	80
4.7.6.	Diagrama de flujo del proceso de mantenimiento la cinta transportadora	81
4.8.	Cálculo de la producción	82
4.9.	Gestión actual de repuestos	84
4.10.	Indicadores KPI's y OEE actuales de los equipos críticos	86
4.10.1.	Protocolo de medición del OEE actual	86

4.10.2.	Indicador OEE actual de la criba vibratoria de 3 niveles.....	89
4.10.3.	Indicador OEE actual del molino de impacto	90
4.10.4.	Indicador OEE actual de la cinta transportadora.....	91
4.10.5.	Protocolo de cálculo y metodología de MTBF y MTTR actuales	92
4.10.6.	Indicadores MTBF y MTTR actuales	93

CAPÍTULO V: PLAN DE MANTENIMIENTO

5.1.	Plan de mantenimiento para equipos críticos.....	96
5.1.1.	Plan de mantenimiento de la criba vibratoria de tres niveles.....	96
5.1.2.	Plan de mantenimiento del molino de impacto	98
5.1.3.	Plan de mantenimiento de la cinta transportadora	99
5.1.4.	Estructura documental estandarizada.....	101
5.2.	Cursograma analítico propuesto.....	102
5.2.1.	Cursograma analítico propuesto del proceso de mantenimiento de la criba de tres niveles.....	103
5.2.2.	Cursograma analítico propuesto del proceso de mantenimiento del molino de impacto.....	106
5.2.3.	Cursograma analítico propuesto del proceso de mantenimiento de la cinta transportadora.....	108
5.3.	Reducción de averías.....	109
5.3.1.	Reducción de averías criba vibratoria de tres niveles	110
5.3.2.	Reducción de averías molino de impacto.....	111
5.3.3.	Reducción de averías cintas transportadoras.....	112
5.4.	Datos propuestos de los equipos críticos	113
5.4.1.	Datos propuestos de criba vibratoria de tres niveles.....	113
5.4.2.	Datos propuestos del molino de impacto	114
5.4.3.	Datos propuestos de las cintas transportadoras.....	115
5.5.	Impacto de la propuesta (Lean - JIT y SMED)	117
5.5.1.	SMED (Single Minute Exchange of Die)	117
5.5.2.	Just In Time (JIT) en gestion de repuestos.....	118
5.6.	Indicadores KPI's y OEE propuestos de los equipos críticos	119
5.6.1.	Protocolo de medición del OEE propuesto	119
5.6.2.	Indicador OEE propuesto del molino de impacto.....	121

5.6.3.	Indicador OEE propuesto de la cinta transportadora	122
5.6.4.	Indicador OEE propuesto de criba vibratoria de tres niveles.....	123
5.6.5.	Protocolo de cálculo de mejoras para MTBF y MTTR propuesto....	124
5.6.6.	Indicadores MTBF y MTTR propuestos.....	124
5.7.	Análisis diagnostico/propuesta.....	126
5.7.1.	Análisis diagnostico/propuesta del indicador OEE	126
5.7.2.	Análisis diagnostico/propuesta de los indicadores MTBF y MTTR.	128
5.8.	Sistema de control operacional	130
5.8.1.	Flujo de Órdenes de Trabajo (OT) y codificación de fallas	130
CAPÍTULO VI:		
GESTIÓN DE REPUESTO		
6.1.	Gestión de repuestos propuesta.....	132
6.2.	Cálculos ROP propuesto (punto de reorden).....	133
CAPÍTULO VII:		
INVERSION DE LA PROPUESTA		
7.1.	Análisis del costo por paradas (tiempos muertos)	135
7.1.1.	Reducción total de tiempos de parada anual	135
7.1.2.	Valoración del costo por parada (pérdida de producción).....	135
7.2.	Cuantificación del costo de inversión	137
7.2.1.	Costo anual de mano de obra (M.O.) directa	137
7.2.2.	Costo de Capacitación.....	138
7.2.3.	Costo anual de repuestos y consumibles cuantificables.....	138
7.2.4.	Costo total de inversión.....	139
7.3.	Cálculo del ROI.....	139
CAPÍTULO VIII:		
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		
8.1.	Conclusiones	141
8.2.	Recomendaciones.....	142
BIBLIOGRAFÍA.....		143
Bibliografía		143
ANEXOS.....		145

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 <i>Líneas de productos</i>	21
Tabla 2.2 <i>Maquinaria y Equipo de la empresa</i>	23
Tabla 2.3 <i>Materia prima e insumos</i>	25
Tabla 3.1 <i>Requisitos estructurales del SGM</i>	48
Tabla 4.1 <i>Datos promedio de la criba vibratoria de tres niveles</i>	56
Tabla 4.2 <i>Datos promedios del molino de impacto</i>	57
Tabla 4.3 <i>Datos promedios de la lavadora de arena</i>	58
Tabla 4.4 <i>Datos promedios de los tornillos lavadores de arena</i>	58
Tabla 4.5 <i>Datos promedios de la tolva 1 (mayor vol.)</i>	59
Tabla 4.6 <i>Datos promedios Tolva 2 (menor vol.)</i>	59
Tabla 4.7 <i>Datos promedios de la criba vibratoria de un nivel</i>	60
Tabla 4.8 <i>Datos promedios cintas transportadoras</i>	61
Tabla 4.9 <i>Tabla resumen</i>	61
Tabla 4.10 <i>Frecuencia de averías de los equipos de la planta</i>	63
Tabla 4.11 <i>Ficha técnica descripción Criba de 3 niveles</i>	64
Tabla 4.12 <i>Ficha técnica descripción del Molino de impacto</i>	65
Tabla 4.13 <i>Ficha técnica descripción del Cinta transportadora</i>	66
Tabla 4.14 <i>Herramientas y repuestos de la criba de tres niveles</i>	73
Tabla 4.15 <i>Herramientas y repuestos del molino de impacto</i>	77
Tabla 4.16 <i>Herramientas y repuestos de la cinta transportadora</i>	80
Tabla 4.17 <i>Matriz de criticidad y tiempos de entrega de repuestos actuales</i>	85
Tabla 4.18 <i>Indicador resumen de OEE actual de la criba vibratoria de 3 niveles</i>	89
Tabla 4.19 <i>Indicador resumen de OEE actual del molino de impacto</i>	90
Tabla 4.20 <i>Indicador resumen de OEE actual de la cinta transportadora</i>	91
Tabla 4.21 <i>Indicadores resúmenes actuales de MTBF y MTTR</i>	94
Tabla 5.2 <i>Plan de mantenimiento de la criba vibratoria de tres niveles</i>	96
Tabla 5.3 <i>Plan de mantenimiento del molino de impacto</i>	98
Tabla 5.4 <i>Plan de mantenimiento de la cinta transportadora</i>	99
Tabla 5.5 <i>Estructura documental estandarizada</i>	102
Tabla 5.6 <i>Reducción de averías criba vibratoria de tres niveles</i>	110

Tabla 5.7 Reducción de averías molino de impacto.....	112
Tabla 5.8 Reducción de averías cintas transportadoras	113
Tabla 5.9 Datos propuestos de criba vibratoria de tres niveles.....	114
Tabla 5.10 Datos propuestos del molino de impacto	115
Tabla 5.11 Datos propuestos de las cintas transportadoras	115
Tabla 5.12 Resumen del impacto.....	116
Tabla 5.13 Indicador resumen de OEE propuesto del molino de impacto.....	122
Tabla 5.14 Indicador resumen de OEE propuesto de la cinta transportadora	122
Tabla 5.15 Indicador resumen de OEE propuesto de criba vibratoria de tres niveles	123
Tabla 5.16 Indicadores MTBF y MTTR propuestos	125
Tabla 5.17 Análisis diagnostico/propuesta del indicador OEE	127
Tabla 5.18 Análisis diagnostico/propuesta de los indicadores MTBF y MTTR.....	129
Tabla 6.1 Matriz de criticidad y tiempos de entrega de repuestos propuesto	132
Tabla 6.2 Cálculo del Punto de Reorden propuesto (ROP)	134
Tabla 7.1 Reducción total de tiempos de parada anual	135
Tabla 7.2 Precio de venta	136
Tabla 7.3 Costo anual de mano de obra	137
Tabla 7.4 Costo de capacitación	138
Tabla 7.5 Costo anual de repuestos y consumibles propuestos.....	139

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 <i>Árbol de problemas</i>	6
Figura 1.2 <i>Árbol de soluciones</i>	8
Figura 2.1 <i>Información sobre la empresa</i>	19
Figura 2.2 <i>Localización de la empresa</i>	20
Figura 2.3 <i>Organigrama de la empresa</i>	20
Figura 2.4 <i>Diagrama de flujo del proceso de áridos</i>	28
Figura 2.5 <i>Lay out de la empresa ARIDOS CUELLAR</i>	29
Figura 3.1 <i>Ciclo gráfico básico del Mantenimiento Preventivo</i>	33
Figura 3.2 <i>Ciclo gráfico del Mantenimiento Correctivo</i>	34
Figura 3.3 <i>Grafica sobre los principios de la técnica SMED</i>	36
Figura 3.4 <i>Representación de la dinámica de un Sistema de Mantenimiento</i>	38
Figura 3.5 <i>Diagrama de Pareto</i>	41
Figura 3.6 <i>Expresión matemática del tiempo medio entre fallas</i>	43
Figura 3.7 <i>Expresión matemática del tiempo medio para reparar</i>	44
Figura 3.8 <i>Costos de mantenimiento industrial</i>	46
Figura 4.1 <i>Diagrama de flujo combinado</i>	50
Figura 4.2 <i>Cursograma analítico actual de averías en condiciones normales</i>	52
Figura 4.3 <i>Cursograma analítico de averías en condiciones críticas</i>	53
Figura 4.4 <i>Diagrama de Pareto de averías de los equipos de la planta</i>	63
Figura 4.5 <i>Cursograma analítico del proceso de mantenimiento de la criba de tres niveles</i>	67
Figura 4.6 <i>Cursograma analítico del proceso de mantenimiento del molino de impacto</i>	69
Figura 4.7 <i>Cursograma analítico del proceso de mantenimiento de la cinta transportadora</i>	71
Figura 4.8 <i>Proceso de mantenimiento de la criba de tres niveles</i>	75
Figura 4.9 <i>Proceso de mantenimiento del molino de impacto</i>	79
Figura 4.10 <i>Proceso de mantenimiento de la cinta transportadora</i>	81
Figura 5.1 <i>Cursograma analítico propuesto del proceso de mantenimiento de la criba de tres niveles</i>	103

Figura 5.2 <i>Cursograma analítico propuesto del proceso de mantenimiento del molino de impacto</i>	106
Figura 5.3 <i>Cursograma analítico propuesto del proceso de mantenimiento de la cinta transportadora</i>	108

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 <i>Ficha de registro de intervención de equipos</i>	146
Anexo 2 <i>Ficha de registro de repuestos actuales y costos</i>	149
Anexo 3 <i>Indicador OEE actual de la criba vibratoria de 3 niveles</i>	151
Anexo 4 <i>Indicador OEE actual del molino de impacto</i>	152
Anexo 5 <i>Indicador OEE actual de la cinta transportadora</i>	152
Anexo 6 <i>Indicadores MTBF y MTTR actuales</i>	153
Anexo 7 <i>Manual de funciones</i>	155
Anexo 8 <i>Instructivos</i>	171
Anexo 9 <i>Indicador OEE propuesto de la criba vibratoria de 3 niveles</i>	330
Anexo 10 <i>Indicador OEE propuesto del molino de impacto</i>	331
Anexo 11 <i>Indicador OEE propuesto de la cinta transportadora</i>	331
Anexo 12 <i>Cronograma de actividades planificadas</i>	332
Anexo 13 <i>Indicadores MTBF y MTTR propuestos</i>	336
Anexo 14 <i>Ficha de registro de repuestos propuestos y costos</i>	338