UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**Propuesta de mejora para la implementación de un
sistema de gestión de mantenimiento en una empresa
maderera**

TESIS

Para optar por el título profesional de: Ingeniero Industrial

AUTOR(ES)

Ccapa Rojas, Miguel Angel (0000-0002-7110-2181)

Mechato Yovera, Isaias Ivan (0000-0003-4268-1513)

ASESOR

Castro Rangel, Percy Roberto (0000-0001-8512-8625)

Lima, 28 de Febrero 2019

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedicamos a nuestros padres, a los profesores de la facultad que nos ayudaron en nuestra formación académica, también lo dedicamos a nuestra familia por estar siempre apoyándonos en la diferentes etapas de este proceso universitario.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestros padres quienes son nuestro motor y mayor inspiración, que con sus valores ayudan a trazar nuestro camino.

A todos los docentes que con su sabiduría y conocimiento motivaron a desarrollarnos como persona y profesional en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

Resumen

En este estudio, se muestra la aplicación de la metodología RCM (que es un modelo de gestión de mantenimiento) en una fábrica de pisos machihembrados, en el área de Transformación Avanzada; en esta sección es donde se le da el acabado final de todas las superficies del piso. La aplicación de la metodología RCM permitió el análisis de las funciones primarias y secundarias, la identificación de los modos de falla, los efectos de la falla y la jerarquización de riesgos de los equipos más críticos del sistema o área problema. Para determinar el plan de mantenimiento se realizó el AMEF y a su vez, con el NPR se seleccionó los modos de fallas de mayor criticidad. Posteriormente, estos modos de falla se analizaron en la hoja de información y en la hoja de decisión con el objetivo de determinar las actividades y frecuencia de las tareas de mantenimiento. Como consecuencia de este análisis, se desarrollaron documentos que ayudan a la gestión adecuada de mantenimiento (Hoja de vida, ficha técnica, reporte de novedad, solicitud de servicio de mantenimiento, orden de trabajo y el informe de mantenimiento). También, se desarrollaron instructivos de actividades de mantenimiento de las maquinas. Por último, se muestran algunos resultados de la simulación de la metodología, tales como: la reducción de los tiempos medios para reparar (TMPR) y el incremento de las tareas de mantenimiento concluidas dentro del plazo establecido. Estos resultados se reflejaran en el aumento de la disponibilidad de los equipos de planta.

Palabras clave: RCM, gestión, mantenimiento, falla funcional, criticidad.

ABSTRACT

In this study, the application of the RCM methodology (which is a maintenance management model) is shown in a factory of tongue and groove floors, in the area of Advanced Transformation; in this section is where the final finish of all floor surfaces is given. The application of the RCM methodology allowed the analysis of the primary and secondary functions, the identification of the failure modes, the effects of the failure and the hierarchy of risks of the most critical equipment of the system or problem area. The AMEF was carried out to determine the maintenance plan and in turn, with the NPR, the most critical failure modes were selected. Subsequently, these failure modes were analyzed in the information sheet and in the decision sheet with the objective of determining the activities and frequency of maintenance tasks. As a consequence of this analysis, documents were developed that help with the proper maintenance management (Resume, technical file, novelty report, maintenance service request, work order and maintenance report). Also, instructions for maintenance activities of the machines were developed. Finally, some results of the simulation of the methodology are shown, such as: the reduction of the average times to repair (TMPR) and the increase of the maintenance tasks concluded within the established term. These results will be reflected in the increased availability of plant equipment.

Key words: RCM, management, maintenance, functional failure, criticality.

TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO 1: MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Industria Manufacturera.....	1
1.1.1 Definición	1
1.2 Gestión del Mantenimiento.....	1
1.2.1 Historia del mantenimiento.....	2
1.2.2 Sistema de Mantenimiento.....	3
1.2.3 Conceptos de un sistema de mantenimiento	4
1.2.4 Objetivos de un sistema de mantenimiento	5
1.2.5 Beneficios de un sistema de mantenimiento	6
1.2.6 Disponibilidad.....	7
1.2.7 Funciones de un sistema de gestión de mantenimiento	8
1.2.8 Indicadores de mantenimiento	9
1.3 Tipos de Mantenimiento	9
1.3.1 Mantenimiento Predictivo.....	9
1.3.2 Mantenimiento Correctivo	10
1.3.3 Mantenimiento Preventivo.....	10
1.3.4 Mantenimiento basado en la condición (MBC)	12
1.4 TPM	13
1.4.1 Pilares del TPM.....	15
1.4.2 Beneficios y críticas del TPM.....	15
1.5 Mantenimiento centrado en confiabilidad o RCM (Reliable Centered Maintenance)	16
1.5.2 Proceso de análisis del RCM	17
1.5.3 Principios de RCM.....	19
1.5.4 Pasos para la implementación del RCM	21
1.5.5 Herramientas del RCM	22
1.5.6 Herramientas y Técnicas de Mejora Continua.....	27
1.6 Casos de Éxito.....	30
1.6.1 Caso 1: Aplicación de RCM en una refinería	30
1.6.2 Caso 2: Aplicación de RCM II en una planta de producción de lingotes de plomo	35

1.6.3 Caso 3: Aplicación de TPM en una planta de generación de energía termoeléctrica.....	42
1.7 Conclusiones del capítulo 1	45
CAPÍTULO 2: ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA.....	46
2.1 Descripción de la empresa	46
2.1.1 Principales productos	51
2.2 Procesos generales de la empresa	54
2.2.1 Descripción de los procesos de la empresa.....	56
2.2.2 Detalle de áreas productivas	57
2.3 Área de Mantenimiento.....	70
2.3.1 Organización	70
2.4 Determinación de la problemática	76
2.5 Identificación de Problema	78
2.5.1 Disponibilidad de maquinas.....	79
2.5.2 Tiempo Medio Entre Fallas (TMEF)	81
2.5.3 Tiempo Medio Para Reparar (TMPR)	83
2.5.4 Horas por fallas de maquina en las áreas productivas	85
2.5.5 Arbol de problemas.....	86
2.6 Impacto económico	98
2.7 Conclusiones del capítulo 2	99
CAPITULO 3: PROPUESTA DE SOLUCIÓN AL PROBLEMA	100
3.1 Alternativas de solución.....	100
3.2 Criterio de elección de técnica a utilizarse	101
3.3 Objetivos del proyecto	106
3.3.1 Objetivo General.....	106
3.3.2 Objetivos Específicos.....	106
3.4 Indicadores cuantitativos	106
3.5 Costo de la implementación de RCM	107
3.5.1 Costo de la capacitación del personal	107
3.5.2 Costo de las horas hombre	107
3.5.3 Costo de equipos de monitoreo.....	108
3.6 Elección de la propuesta solución.....	110
3.7 Propuesta de solución	110

3.7.1	Paso 1: Persuadir a la Gerencia de Operaciones la adopción de la metodología	111
3.7.2	Paso 2: Selección del equipo de trabajo.....	112
3.7.3	Paso 3: Capacitar al personal seleccionado	113
3.7.4	Paso 4: Descripción del sistema.....	113
3.7.5	Paso 5: Descripción del subsistema	113
3.7.6	Paso 6: Identificación de máquinas de T.A	114
3.7.7	Paso 7: Identificar la criticidad de los equipos	115
3.7.8	Paso 8: Identificación del contexto operacional de los equipos	117
3.8	Cronograma de ejecución	122
3.9	Aplicación de los pasos RCM.....	124
3.9.1	Paso 1: Persuadir a la Gerencia de Operaciones la adopción de la metodología	124
3.9.2	Paso 2: Selección del equipo de trabajo.....	133
3.9.3	Paso 3: Capacitar al personal seleccionado	135
3.9.4	Paso 4: Identificación del sistema.....	137
3.9.5	Paso 5: Identificación del subsistema	138
3.9.6	Paso 6: Identificación de máquinas de Transformación Avanzada	141
3.9.7	Paso 7: Identificar la criticidad de los equipos	142
3.9.8	Paso 8: Identificación del contexto operacional de los equipos	152
3.9.9	Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF)	153
3.10	Elaboración del plan de mantenimiento.....	180
3.11	Elaboración del plan de mantenimiento preventivo.....	181
3.12	Auditoria	199
3.12.1	Políticas para las reuniones de RCM	201
3.13	Implementación de las acciones correctivas para mejorar el plan.....	203
3.14	Conclusiones del capítulo 3	215
CAPITULO 4: VALIDACION DE LA SOLUCION DE INGENIERIA		216
4.1	SIMULACION DEL PROYECTO	216
4.1.1	Lista de Variables aleatorias relacionadas al área de mantenimiento.....	219
4.1.2	Ajuste de datos utilizando Input Analyzer del Arena.	224
4.1.3	Simulación del proceso actual con el software de simulación arena.....	238
4.1.4	Simulación del proceso mejorado con el software de simulación arena	242
4.1.5	Comparación de escenarios.....	244

4.1.6 Comparación de escenarios de tiempos promedio de horas en atención de nota de servicio.....	245
4.1.7 Comparación de escenarios de número de notas de servicio atendidas en el periodo de simulación de 30 días.....	247
4.2 ANALISIS FINANCIERO	250
4.2.1 Costo de la implementación.....	251
4.2.2 Beneficio esperado de la propuesta.....	252
CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	262
5.1 Conclusiones	262
5.2 Recomendaciones	262
GLOSARIO	264
SIGLARIO.....	265
Anexos	266
Bibliografía	269

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Las 7 preguntas del RCM	20
Tabla 2: Esquema de Análisis de Pareto.....	29
Tabla 3: Evaluación de la importancia de las maquinarias.....	30
Tabla 4: Ejemplo del análisis del nivel de riesgo	32
Tabla 5: Programa de mantenimiento preventivo	33
Tabla 6: Nivel de riesgo de cada equipo	34
Tabla 7: Resultados de OEE	34
Tabla 8: Categorías de consecuencias.....	38
Tabla 9: Matriz de riesgo para RCM II.....	39
Tabla 10: Interpretación del Riesgo	39
Tabla 11: Hoja de decisión RCM de sección rejilladora	40
Tabla 12: Modos de falla más importantes de la planta de producción de lingotes de acuerdo a su grado de criticidad.	41
Tabla 13: Reducción de tiempo medio entre fallas después del RCM	42
Tabla 14: Ventas de productos de los últimos 6 meses	48
Tabla 15: Importancia de los principales productos	49
Tabla 16: Diagrama multiproductos	50
Tabla 17: SIPOC de mantenimiento	56
Tabla 18: Hoja de proceso de T.S	60
Tabla 19: Hoja de proceso de Hornos.....	63
Tabla 20: Hoja de proceso de TA	67
Tabla 21: Hoja de proceso de Barnizado	70
Tabla 22: Descripción de diagrama de flujo de mantenimiento correctivo	76
Tabla 23: Total de horas de paradas de máquinas no planificadas ocasionadas por falla de máquina en las áreas productivas en los años 2015 y 2016.....	86
Tabla 24: Resultados de evaluación de desempeño de personal de mantenimiento.....	89
Tabla 25: Criterios de evaluación de desempeño	90
Tabla 26: Descripción de categorías de Técnicos de Mantenimiento.....	93
Tabla 27: Participantes de la encuesta	95
Tabla 28: Criterios de evaluación	95
Tabla 29: Puntuación de las causas.....	97
Tabla 30: Impacto económico ocasionado por las fallas de maquina en el año 2016	98
Tabla 31: Ventajas y desventajas de los enfoques de mantenimiento	101
Tabla 32: Criterios de evaluación	102

Tabla 33: Ponderación de criterios	102
Tabla 34: Criterios de evaluación	103
Tabla 35: Matriz de comparación de metodologías versus disponibilidad de equipos.....	104
Tabla 36: Matriz de comparación de metodologías versus tiempo de implementación	104
Tabla 37: Matriz de comparación de metodologías versus competencias del personal	105
Tabla 38: Matriz de comparación de metodologías versus inversión.....	105
Tabla 39: Matriz de evaluación final	106
Tabla 40: Costo de curso de RCM al equipo de trabajo	107
Tabla 41: Costo de implementación del RCM.....	108
Tabla 42: Costo de equipos y herramientas de implementación del RCM.....	109
Tabla 43: Inventario de máquinas de T.A.....	114
Tabla 44: Inventario de máquinas de las líneas Pre maquinado 1 y maquinado 1	115
Tabla 45: Tabla de criterios de criticidad	116
Tabla 46: Límites de criticidad	117
Tabla 47: Criterios de evaluación del AMEF	118
Tabla 48: Hoja de información RCM de maquina Optimizadora.....	119
Tabla 49: Hoja de decisión RCM de máquina Moldurera 1	119
Tabla 50: Programa de ejecución de actividades para la implementación de RCM.....	123
Tabla 51: Data de la OEE	125
Tabla 52: Tabla de disponibilidad de máquinas	127
Tabla 53: Producción Metros lineales (estándar).....	129
Tabla 54: Producción Metros lineales (real)	130
Tabla 55: Rendimiento de las máquinas	130
Tabla 56: Costo de implementación de metodología de RCM	133
Tabla 57: Equipo de trabajo.....	133
Tabla 58: Tareas y funciones del equipo RCM	134
Tabla 59: Cronograma de capacitación.....	136
Tabla 60: Inventario de máquinas de T.A.....	142
Tabla 61: Tipo de mantenimiento de acuerdo la criticidad.....	143
Tabla 62: Resumen de criticidad de máquinas	144
Tabla 63: Sistemas y Subsistemas de máquina Moldurera 1	146
Tabla 64: Sistemas y Subsistemas de máquina Retestadora.....	148
Tabla 65: Sistemas y Subsistemas de máquina Optimizadora.....	150
Tabla 66: Sistemas y Subsistemas de máquina Cepilladora 1	152
Tabla 67: AMEF de Moldurera 1.....	154

Tabla 68: AMEF de Moldurera 1 (Continuación)	155
Tabla 69: AMEF de Moldurera 1 (Continuación)	156
Tabla 70: AMEF de Moldurera 1 (Continuación)	157
Tabla 71: AMEF de Retestadora.....	159
Tabla 72: AMEF de Retestadora (continuación)	160
Tabla 73: AMEF de Retestadora (continuación)	161
Tabla 74: AMEF de Retestadora (continuación)	162
Tabla 75: AMEF de la Optimizadora.....	164
Tabla 76: AMEF de la Optimizadora (continuación)	165
Tabla 77: AMEF de la Cepilladora.....	167
Tabla 78: AMEF de la Cepilladora (continuación).....	168
Tabla 79: AMEF de la Cepilladora (continuación).....	169
Tabla 80: Hoja de información RCM de Moldurera 1	171
Tabla 81: Hoja de decisión RCM de máquina Moldurera 1	172
Tabla 82: Hoja de información RCM de Retestadora.....	173
Tabla 83: Hoja de decisión RCM de máquina Retestadora	174
Tabla 84: Hoja de información RCM de Retestadora (Continuación)	175
Tabla 85: Hoja de información RCM de Optimizadora.....	176
Tabla 86: Hoja de decisión RCM de máquina Optimizadora	177
Tabla 87: Hoja de información RCM de Cepilladora 1	178
Tabla 88: Hoja de decisión RCM de máquina Cepilladora 1	179
Tabla 89: Programa de mantenimiento preventivo Moldurera 1	182
Tabla 90: Costos de mantenimiento preventivo Moldurera 1	183
Tabla 91: Instructivo de máquina Moldurera.....	184
Tabla 92: Continuación de Instructivo de máquina Moldurera	185
Tabla 93: Programa de mantenimiento preventivo Retestadora	186
Tabla 94: Costos de mantenimiento preventivo Retestadora.....	187
Tabla 95: Instructivo de máquina Retestadora.....	188
Tabla 96: Continuación de instructivo de máquina Retestadora	189
Tabla 97: Continuación de instructivo de máquina Retestadora	190
Tabla 98: Programa de mantenimiento preventivo Optimizadora.....	191
Tabla 99: Costos de mantenimiento preventivo Optimizadora.....	192
Tabla 100: Instructivo de máquina Optimizadora	193
Tabla 101: Continuación de Instructivo de máquina Optimizadora	194
Tabla 102: Programa de mantenimiento preventivo Cepilladora 1	195

Tabla 103: Costos de mantenimiento preventivo Cepilladora 1	196
Tabla 104: Instructivo de máquina Cepilladora.....	197
Tabla 105: Continuación de instructivo de máquina Cepilladora.....	198
Tabla 106: Formato para Auditoría RCM.....	200
Tabla 107: Control de asistencia del equipo RCM	203
Tabla 108: Formato de chequeo Moldurera.....	204
Tabla 109: Formato de chequeo Optimizadora.....	205
Tabla 110: Formato de chequeo Cepilladora	206
Tabla 111: Formato de chequeo Retestadora.....	207
Tabla 112: Formato ficha técnica de la máquina	209
Tabla 113: Formato hoja de vida de la máquina.....	210
Tabla 114: Formato de reporte de novedad	211
Tabla 115: Formato de solicitud de servicio de mantenimiento	212
Tabla 116: Formato de orden de trabajo	213
Tabla 117: Formato de informe de mantenimiento.....	214
Tabla 118: Porcentaje de derivación de notas de servicio	218
Tabla 119: Porcentaje de tipos de Fallas.....	218
Tabla 120: porcentaje de fallas que se atienden en el taller o el campo	218
Tabla 121: Porcentaje de Fallas que fueron aprobadas por el supervisor	218
Tabla 122: Se tiene el siguiente personal en la actualidad.....	218
Tabla 123: Variables de flujo de proceso	220
Tabla 124: Variables de flujo de proceso (continuación)	221
Tabla 125: Variables de flujo de proceso (continuación)	222
Tabla 126: Variables de flujo de proceso (continuación)	223
Tabla 127: Funciones de distribución asignadas	238
Tabla 128: Recursos del sistema actual	241
Tabla 129: Recursos del sistema propuesto	244
Tabla 130: Resultado de simulación de tiempos propuesto.....	244
Tabla 131: Comparación de escenarios	245
Tabla 132: Replicas de ambos escenarios.....	245
Tabla 133: Resultado de variables	246
Tabla 134: Comparación de escenarios	247
Tabla 135: Replicas de ambos escenarios.....	248
Tabla 136: Resultado de variables	248
Tabla 137: Producción perdida por baja disponibilidad en el año 2016.....	250

Tabla 138: Utilidad de fabricación de piso de machihembrado	251
Tabla 139: Inversión de implementación de RCM	252
Tabla 140: Costo de manteamiento correctivo 2016	252
Tabla 141: Costo de manteamiento preventivo 2016	253
Tabla 142: Ahorro estimado escenario 1	253
Tabla 143: Ahorro estimado escenario 2	254
Tabla 144: Ingresos por producción adicional en fabricación de pisos machihembrado	254
Tabla 145: Cálculo del Payback	259
Tabla 147: Flujo de caja de escenario 1	260
Tabla 148: Flujo de caja de escenario 2	261
Tabla 149: Descripción de fallas en el año 2016	266
Tabla 150: Descripción de fallas en el año 2016 (Continuación)	267

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estrategias de mantenimiento.....	6
Figura 2: Ecuación del OEE	7
Figura 3: Ecuación del OEE	7
Figura 4: Interacción entre producción y mantenimiento	8
Figura 5: Formulas de indicadores.....	9
Figura 6: Estructura del RCM.....	19
Figura 7: Árbol de decisión.....	22
Figura 8: Matriz genérica de criticidad	25
Figura 9: Diagrama de flujo.....	28
Figura 10: Diagrama de árbol	29
Figura 11: Análisis RCM.....	31
Figura 12: Diagrama de metodología del RCM II.....	35
Figura 13: Diagrama del proceso planta de producción de lingotes de plomo	36
Figura 14: Categorías de frecuencias	38
Figura 15: Organigrama general de la empresa	47
Figura 16: Principales productos	51
Figura 17: Solidos sin barnizar	51
Figura 18: Triplay	51
Figura 19: MDF	52
Figura 20: Solidos sin barnizar	52
Figura 21: Solidos barnizados.....	52
Figura 22: Tablillas	53
Figura 23: Parquet.....	53
Figura 24: Estructurados	53
Figura 25: Interacción de procesos	54
Figura 26: Mapa de procesos	55
Figura 27: Proceso de aserrado de madera	58
Figura 28: Diagrama de procesos área Transformación Secundaria	59
Figura 29: Proceso de secado de madera al horno	61
Figura 30: Diagrama de procesos para la fabricación de pisos en área hornos	62
Figura 31: Proceso de canteado de la madera	64
Figura 32: Proceso de cepillado superior e inferior de la madera.....	64
Figura 33: Proceso de optimizado de la madera	65
Figura 34: Proceso de moldurado de la madera.....	65

Figura 35: Diagrama de procesos área Transformación Avanzada	66
Figura 36: Diagrama de procesos área barnizado	68
Figura 37: Organigrama del área de Mantenimiento	71
Figura 38: Proceso de mantenimiento.....	75
Figura 39: Formula de disponibilidad.....	79
Figura 40: Tiempo Medio Entre Fallas	81
Figura 41: Tiempo Medio Para Reparar	83
Figura 42: Diagrama de árbol	87
Figura 43: Formula de indicadores	107
Figura 44: Diagrama de metodología del RCM II.....	110
Figura 45: Pasos para la implementación de RCM.....	111
Figura 46: Equipo de estudios para la implementación RCM	112
Figura 47: Clasificación de los sistemas, sub sistemas, etc.	113
Figura 48: Matriz de criticidad	117
Figura 49: Registro de las consecuencias de falla en la hoja de decisión.....	120
Figura 50: Criterios de factibilidad técnica.....	121
Figura 51: Las preguntas “a falta de”	121
Figura 52: OEE y sus complementos.....	124
Figura 53: Indicadores de producción máquina.....	126
Figura 54: Ecuación del OEE	126
Figura 55: Formula de disponibilidad.....	126
Figura 56: Interacción entre producción y mantenimiento	131
Figura 57: Temario de capacitación de RCM	135
Figura 58: Sistemas de producción	137
Figura 59: Subsistemas de producción	139
Figura 60: Diagrama de recorrido de Transformación Avanzada	140
Figura 61: Leyenda de simbología.....	141
Figura 62: Ficha técnica de máquina Moldurera 1	145
Figura 63: Vista de conjunto de máquina Moldurera 1	146
Figura 64: Ficha técnica de máquina Retestadora	147
Figura 65: Vista de conjunto de máquina Retestadora	148
Figura 66: Ficha técnica de máquina Optimizadora	149
Figura 67: Vista de conjunto de máquina Optimizadora	149
Figura 68 Ficha técnica de máquina Cepilladora 1	151
Figura 69: Vista de conjunto de máquina Cepilladora 1.....	152

Figura 70: Esquema para realizar el AMEF	153
Figura 71: Círculo de mejora continúa RCM	181
Figura 72: Flujograma de reuniones RCM	202
Figura 73: Flujograma de proceso de atención de mantenimiento	217
Figura 74: Simulación de proceso actual en Software Arena	239
Figura 75: Simulación de proceso actual en Software Arena (continuación).....	240
Figura 76: Resultado de simulación actual	241
Figura 77: Resultado de simulación de tiempos actual.....	241
Figura 78: Simulación de proceso mejorado en Software Arena	243
Figura 79: formula de no disponibilidad.....	250
Figura 80: Tasa libre de riesgo.....	255
Figura 81: Beta del sector	256
Figura 82: Prima de riesgo de mercado ($R_m - R_f$).....	257
Figura 83: Riesgo país	258

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1: Situación antes de la implantación del TPM en el 2013.....	44
Gráfico 2: Situación después de la implantación del TPM en el 2014	45
Gráfico 3: Ventas de los últimos 6 meses del año 2016	47
Gráfico 4: Ventas de productos de los últimos 6 meses	48
Gráfico 5: Principales productos vendidos en los últimos 6 meses del año 2016	49
Gráfico 6: Principales causas de paradas de maquina no planificada en planta en los años 2015.....	77
Gráfico 7: Principales causas de paradas de maquina no planificada en planta en los años 2016.....	78
Gráfico 8: Disponibilidad de los equipos en los años 2015-2016	80
Gráfico 9: Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) años 2015-2016.....	82
Gráfico 10: Tiempo Medio Para Reparar (MTTR) años 2015-2016	84
Gráfico 11: Horas de paradas de máquinas no planificadas ocasionadas por falla de máquina en las áreas productivas del año 2015 y 2016.....	85
Gráfico 12: Distribución de horas de fallas de máquina en Transformación Avanzada	88
Gráfico 13: Tipos de mantenimientos ejecutados en el año 2016	91
Gráfico 14: Tendencia de trabajos “Cerrados” y “En proceso” en el año 2016	92
Gráfico 15: Trabajos de mantenimiento no ejecutados en el año 2016	92
Gráfico 16: Distribución de intervenciones según categoría de técnico en el área de Transformación Avanzada	93
Gráfico 17: Rotación de personal	94
Gráfico 18: Causas más representativas	96
Gráfico 19: Comparación de paradas de máquina	125
Gráfico 20: Disponibilidad de (TA).....	128
Gráfico 21: Calidad del proceso	132
Gráfico 22: Costo de M.O. ocasionadas por fallas de máquina en el año 2016	132
Gráfico 23: Horas de parada no planificadas por falla de máquina.....	138
Gráfico 24: Priorización de los modos de falla Moldurera.....	158
Gráfico 25: Priorización de los modos de falla de la Retestadora	163
Gráfico 26: Priorización de los modos de falla de la Optimizadora	166
Gráfico 27: Priorización de los modos de falla de la Cepilladora	170
Gráfico 28: Función Asignada: $-0.001 + EXPO (1.15)$	224
Gráfico 29: Función Asignada: TRIA (1, 2.1, 3).....	225
Gráfico 30: Función Asignada: TRIA (2.07, 3.84, 6).....	226

Gráfico 31: Función Asignada: TRIA (15, 16.8, 19).....	227
Gráfico 32: Función Asignada: TRIA (3, 5.25, 8).....	228
Gráfico 33: NORM (9.93, 1.97).....	229
Gráfico 34: Función Asignada: $120 + 20 * \text{BETA} (0.926, 0.996)$	230
Gráfico 35: Función Asignada: UNIF (55, 75).....	231
Gráfico 36: Función Asignada: $55 + 20 * \text{BETA} (1.06, 0.859)$	232
Gráfico 37: Función Asignada: TRIA (92, 122, 158).....	233
Gráfico 38: Función Asignada: $55 + \text{WEIB} (8.59, 2.86)$	234
Gráfico 39: Función Asignada: TRIA (56, 74.7, 90).....	235
Gráfico 40: Función Asignada: UNIF (20, 30).....	236
Gráfico 41: Función Asignada: UNIF (5, 10).....	237
Gráfico 46: Comparación de tiempo medio entre fallas (TMPR).....	247
Gráfico 47: Comparación de ordenes atendidas en 30 días	249

CAPITULO 1: MARCO TEÓRICO

En este capítulo se desarrollara el estado del arte mediante la consulta de bibliografías selectivas e indexadas y relevantes que ayudara a la solución de nuestro problema. La información recopilada de estas fuentes está relacionada con la metodología RCM, la antigüedad de estas están dentro del rango de tiempo requerido por la universidad.

Industria Manufacturera

Definición

Las Industrias Manufactureras son aquellas que convierten materia prima en productos terminados con especificaciones que cumplen ciertos requisitos. Estas industrias transforman la materia prima mediante una variada secuencia de procesos que incluyen personas máquinas y energía. La energía que estas utilizan en sus instalaciones puede ser mecánica, térmica, eléctrica o química¹.

En la siguiente cita de Mahesh Mani define la caracterización de procesos:

“A process characterisation activity typically identifies key inputs and outputs of a process, collects data over the entire operating range, estimates the steady-state behaviour at optimal operating conditions and builds models describing the parametric relationships across the operating range.” (Mani y otros 2014: 5896)

De acuerdo a la cita anterior, los procesos tienen entradas transformación y salidas las que a su vez pasan a otros procesos subsecuentes, en cada una de las etapas de transformación se recopilan datos que sirven como métrica para medir su comportamiento y tomar decisiones al respecto.

Gestión del Mantenimiento

Para lograr una eficiente gestión de mantenimiento es necesario la participación de toda organización, es decir el papel que desempeña cada empleado es crucial en el logro de los objetivos trazados. En este sentido, el trabajo en equipo ayuda a lograr una mejor fiabilidad a menor costo, no sólo el departamento de mantenimiento, sino toda la organización. Las organizaciones que en equipo entre el departamento de producción y mantenimiento no es

¹ Cfr. Mani y otros 2014: 5898

sólo una cuestión de principio, sino también una cuestión de viabilidad, muchos experimentos han demostrado que las actividades de mantenimiento adecuadas pueden realizarse cuando toda la unidad de negocio trabaja hacia un objetivo común.²

Historia del mantenimiento

En la gestión del mantenimiento es necesario reconocer dos aspectos básicos: gestión y operación. La primera se refiere al manejo de los recursos, a su planeación y a su control, mientras que la segunda es la realización física del servicio de mantenimiento.³

Respecto a los sistemas de mantenimiento el autor Mora Gutiérrez afirma:

“El esquema moderno de mantenimiento implica la vinculación de herramientas propias de la gestión, y el concepto integral se maneja desde la base de utilizar en forma eficaz y eficiente los factores productivos en forma individual y conjunta.” (Mora 2012: 38)

En los últimos 20 años, el mantenimiento ha cambiado, debido al importante aumento en número y variedad de los activos físicos (planta, equipamiento, edificaciones) que deben ser mantenidos en todo el mundo, diseños más complejos y nuevos métodos de mantenimiento, además de un punto de vista de cambios en la organización del mantenimiento y sus responsabilidades.

El concepto ha ido evolucionando desde la simple función de arreglar y reparar los equipos para asegurar la producción hasta la concepción actual del mantenimiento con funciones de prevenir, corregir y revisar los equipos a fin de optimizar el costo global⁴: A continuación se explica la evolución del concepto de mantenimiento:

El mantenimiento industrial tal como lo entendemos, hizo su aparición, como actividad sistemáticamente organizada, en el siglo XX y los primeros casos conocidos, se desarrollaron en fundiciones en Estados Unidos, y en el sector militar: en aviones y submarinos durante la Primera Guerra Mundial. En 1920, el mantenimiento mecánico ya se practicaba en plantas industriales y actividades de transporte, en 1928 a 1930, aparecen las primeras empresas consultoras de este rubro.

Durante la Segunda Guerra Mundial y en la posguerra, se experimentó un notable avance del mantenimiento, en aplicaciones de interés militar y la aviación. En este periodo, se desarrollaron programas de mantenimiento preventivo consistentes en inspeccionar el avión

² Cfr. Singh y otros 2015: 21

³ Cfr. Mora, A. 2012: 36

⁴ Cfr. Cárcel-Carrasco, F. 2016: 593

antes de cada vuelo, comprobando su estado y reemplazando componentes después de un cierto número de horas de funcionamiento. Es así, como se revelan los conocimientos sobre el estado de los equipos y la rentabilidad del reemplazo, como algo básico para proceder eficientemente a la conservación de los mismos⁵.

Sistema de Mantenimiento

Dentro de la bibliografía Fraser (2014) menciona que se encuentra una lista de más de diez tipos o sistemas de mantenimiento estudiados como: el mantenimiento productivo total (TPM), el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), el mantenimiento basado en la condición (CBM), el mantenimiento de la calidad total (TQM) y el mantenimiento preventivo (PM) Modelos. Durante la búsqueda para descubrir los diferentes modelos de gestión de mantenimiento se identificaron otros cinco modelos: el mantenimiento basado en la edad; Mantenimiento basado en la disponibilidad; Maintenance; el mantenimiento basado en el tiempo. Por lo tanto, existen más de 10 modelos de gestión de mantenimiento denominados de forma diferente para ser analizados más a fondo.⁶

Lo que sugiere que los costos del departamento de mantenimiento representan entre el 15 y el 70 por ciento del costo total de producción, los que toman en cuenta los costos de energía, el gasto de mantenimiento, que puede ser la mayor parte del presupuesto operacional. Con la creciente dependencia y uso de los avances tecnológicos como los robots, la automatización y las instalaciones y equipos informatizados, es probable que el costo de mantenimiento continúe aumentando.⁷ La integración de las funciones de mantenimiento con otras funciones de fabricación dentro puede ayudar a ahorrar gran cantidad de tiempo, dinero y otros recursos para mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos.⁸

Las barreras más representativas para la implementación de un sistema de mantenimiento es la falta de mediciones de la actividad de mantenimiento con el uso de indicadores. Singh y otros indica que, las medidas de mantenimiento no forman parte del marco de rendimiento, es porque se pueden realizar auditorías estructurales para medir la productividad e identificar el área de mejoramiento. En este sentido, es importante implementar el monitoreo para tomar decisiones oportunas; la información sobre el desempeño de la máquina es muy importante y la falta de esta información provoca un proceso de mantenimiento ineficaz e ineficiente.⁹

⁵ Cfr. Cárcel-Carrasco, F. 2016: 593

⁶ Cfr. Fraser 2014: 18

⁷ Cfr. Fraser 2014: 19

⁸ Cfr. Fraser 2014: 19

⁹ Cfr. Singh y otros 2015: 22

Conceptos de un sistema de mantenimiento

Es una combinación de técnicas, administrativas y de gestión que se lleva a cabo en el ciclo de vida de un activo, con la finalidad de mantener los equipos e instalaciones en sus condiciones normales y aceptables de funcionamiento. La correcta ejecución de estas actividades tiene un impacto positivo para la compañía.¹⁰ El mantenimiento de acuerdo a la Norma Técnica Eslovaca STN EN13306 se define como:

"(...) as the set of all the technical, administrative, and management actions for the required service life of technical equipment in order to the maintain or restore the situation in which the technical equipment can carry out under specified technical conditions the required functions." (Straka y Hasova 2016:1258)

En la siguiente cita Pacaiova y Glatz comparten la misma idea al mencionar que el mantenimiento no solo debe enfocarse en el personal de mantenimiento, sino que este concepto debe ser inferido en cada empleado de la compañía:

"Maintenance as combination of all technical, administrative and management activities during the object's life cycle in order to maintain or restore it to a state where it can perform required function, has an impact on safety, environment, product quality, total profit, respectively loss of company. (...)Maintenance is not only the task of ordinary employees working on the maintenance position, but it is mainly management role into which it is necessary to include each employee of the company."(Pacaiova y Glatz 2015: 665)

Como mencionan los autores, en el citado anterior, se entiende que la finalidad de mantenimiento es mantener los equipos en óptimas condiciones de operación, para salvaguardar la seguridad de los operarios, el medio ambiente y calidad del producto, debido al correcto desarrollo del concepto de mantenimiento en cada empleado de la organización.

El mantenimiento se define como una combinación de todas las actividades técnicas y administrativas asociadas a los equipos, instalaciones y otros activos físicos en la condición de funcionamiento deseada o restaurarlos a esta condición. Otra definición indica que el mantenimiento tiene la función de lograr las capacidades de los activos requeridos dentro de un contexto económico o empresarial.¹¹

Herrera Galán y Duany Alfonzo, también añaden lo siguiente sobre el mantenimiento industrial.

"El mantenimiento al igual que otras ramas de la ingeniería, ha evolucionado a gran escala con el paso del tiempo. Los actuales cambios del mundo industrial han traído nuevas políticas e ideologías que se han adaptado al ritmo de vida de las empresas de clase mundial. Actualmente cualquier empresa que desee enfrentar estos retos debe

¹⁰ Cfr. Verena y Bernardo 2016:100

¹¹ Cfr. Muchiri y otros 2014: 3287

estar preparada para asimilar los cambios que le imponen el desarrollo (...).” (2016:3)

Como mencionan los autores el mantenimiento junto con las industrias han evolucionado a través del tiempo, es por ello que si una organización quiere ser de clase mundial debe enfrentar los cambios de desarrollo.

Por otro lado, se define como la secuencia de actividades para que un equipo o sistemas puedan ejecutar sus funciones destinadas, también se puede decir que es el conjunto de actos que se ejecutan para preservar o restablecer un sistema productivo.¹²

Objetivos de un sistema de mantenimiento

La gestión de mantenimiento actual incluye estrategias que ayudan a trazar objetivos y prioridades en las actividades de mantenimiento. Esto facilita la planificación, programación y control de la ejecución del mantenimiento, también se debe tener en cuenta la mejora continua, aspectos económicos relevantes para la organización¹³. La siguiente cita define los objetivos del mantenimiento:

“La adecuada gestión del mantenimiento, tiene en cuenta el ciclo de vida de cada activo físico, debe cumplir con los objetivos de reducir los costos globales de la actividad productiva, asegurar el buen funcionamiento de los equipos y sus funciones, disminuir al máximo los riesgos para las personas y los efectos negativos sobre el medio ambiente, generando, además, procesos y actividades que soporten los objetivos mencionados.” (Viveros y otros 2012: 127)

En esta cita se puede determinar que la gestión del mantenimiento es un factor fundamental y poderoso para la competitividad de una empresa. Por esta razón las compañías tienen que ver al mantenimiento como una la necesidad, luego conceptualizarla y de entender sus procesos para desarrollar una correcta gestión de mantenimiento.

Asimismo, la gestión de mantenimiento permite planificar las áreas donde existen pérdidas como resultado de la disminución de la función del equipo, lo puede amenazar los objetivos de la empresa. Entonces, el objetivo de este sistema de gestión es garantizar la seguridad de los empleados de la empresa, seguridad pública cercana al entorno de la empresa, amenaza de requisitos medioambientales, pérdida de la calidad de la producción o retraso en la entrega y los elevados costes de reparación de equipos en caso de una falla.¹⁴ En la figura 1 se muestra las estrategias de mantenimiento que permiten cumplir con los objetivos de la empresa.

¹² Cfr. Guevara y otros 2015:130

¹³ Cf. Viveros y otros 2013: 127

¹⁴ Cfr. Pacaiova y Glatz 2015: 666

Figura 1: Estrategias de mantenimiento

Fuente: Pacaiova y Glatz 2015: 666

Beneficios de un sistema de mantenimiento

La OEE (Overall Equipment Effectiveness) que traducido al español significa eficacia total del equipo, es una matriz que permite evaluar el funcionamiento de un activo, la data obtenida se evalúa para mejorar la productividad de la empresa. Los factores que definen la OEE son la disponibilidad del sistema, el rendimiento del equipo y la calidad de producción, para incrementar la eficiencia de los equipos se deben eliminar las seis grandes pérdidas (averías, ajustes y calibración, paradas pequeñas, velocidad reducida, rechazos de inicio y rechazos de producción).¹⁵

La implementación de un sistema de mantenimiento dentro de las operaciones de una empresa permite conservar o restablecer un sistema productivo para que pueda realizar las funciones designadas; asimismo, aumenta los niveles de calidad, efectividad y productividad. Por otro lado, esta herramienta buscan alcanzar la mejor relación costo/riesgo /beneficio en las acciones emprendidas para conservar y restablecer la función de los activos, lo cual se logra con un adecuado análisis de los patrones de falla de los principales elementos que componen el equipo y del impacto de su función en la operación.¹⁶

¹⁵ Cfr. Wan Hasrulnizam y otros 2015: 555

¹⁶ Cfr. Guevara y otros 2015: 130

Disponibilidad

Para sistemas complejos de múltiples unidades se tiene que tener en cuenta el estado de todas las unidades para que se pueda determinar cuál es la que está fallando y para no reemplazar todo el sistema. Esto ayuda a reducir los costos de mantenimiento agrupando las actividades de mantenimiento de dos o más unidades, el efecto de esta agrupación es aumentar la disponibilidad del sistema. En este sentido el mantenimiento oportunista es una estrategia que tiene como objetivo reducir los costos de mantenimiento agrupando sus actividades, basándose en la dependencia económica entre las unidades de la planta.¹⁷

Es así como la disponibilidad en un sistema de fabricación está directamente relacionada con el tiempo de funcionamiento y tiempo de actividad, esto depende de si el sistema es muy afectado por el tiempo de inactividad del equipo. Las pérdidas dentro de la función de mantenimiento de una empresa ocurren cuando se produce una avería, en ese instante se debe realizar una tarea de mantenimiento no planificada, además del tiempo de ajuste y calibración; estas actividades imprevistas reducen la disponibilidad de los equipos. Por lo tanto, OEE de las empresas, mide la disponibilidad del sistema en porcentaje del tiempo real de operación dividido por el tiempo de funcionamiento previsto¹⁸. En la figura 2 se muestra la fórmula del OEE.

Figura 2: Ecuación del OEE

$$\begin{aligned} \text{OEE} &= \text{Availability} \cdot \text{Effectiveness} \cdot \text{Quality rate} & (1) \\ \text{Availability} &= \frac{\text{APT}}{\text{PBT}} = \frac{\text{Actual production time}}{\text{Planned busy time}} & (2) \\ \text{Effectiveness} &= \frac{\text{PRU} \cdot \text{PQ}}{\text{APT}} = \frac{\text{Planned running time per unit} \times \text{Produced quantity}}{\text{Actual production time}} & (3) \\ \text{Quality rate} &= \frac{\text{GQ}}{\text{PQ}} = \frac{\text{Good quantity}}{\text{Produced quantity}} & (4) \end{aligned}$$

Fuente: AYATOLLAHI y otros 2013: 896

Para el cálculo de la OEE se usan tres métricas; Disponibilidad, rendimiento y calidad de la producción como se muestra en la figura 3.

Figura 3: Ecuación del OEE

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidad} \times \text{índice de rendimiento} \times \text{índice de calidad}$$

Fuente: Muchiri y otros 2014: 3289

La combinación de estas tres métricas se convierte en una potente herramienta para la medición del rendimiento de los equipos.

¹⁷ Cfr. Zhang y Zeng, 2015: 2101

¹⁸ Cfr. Wan Hasrulnizzam y otros 2015: 556

Para obtener el rendimiento máximo de los activos de manufactura se tiene que analizar los factores que interactúan e influyen en el rendimiento. La interacción entre producción y mantenimiento es vital para cumplir con los mantenimientos programados de acuerdo a la carga de producción.¹⁹ Los factores de producción y mantenimiento considerados se conceptualizan como se muestra en la Figura 4

Figura 4: Interacción entre producción y mantenimiento
Interacciones entre el funcionamiento del equipo y el mantenimiento que impacta el rendimiento.

Fuente: Elaboración propia adaptado de Muchiri y otros 2014: 3289

Funciones de un sistema de gestión de mantenimiento

Con referencia a este concepto Mercado Verena y José Bernardo añaden lo siguiente:

“La gestión de mantenimiento es parte fundamental en la conservación y preservación de activos de una empresa y de la eficiencia en su operación. La gestión de las actividades propias de los recursos humanos, riesgos, costos, comunicación, evaluación de desempeño, que permitan una eficiencia en la planificación, organización, programación junto con el posterior seguimiento y control constituyen las claves para detectar las actividades que realmente funcionan, así como las que deban eliminarse o mejorarse.(Vera y Bernardo 2016:100)

Los autores resaltan la importancia de la gestión de mantenimiento para la conservación de los activos de las organizaciones y a su vez operar de manera eficiente. Para lograr este cometido se deben gestionar de manera eficiente los recursos humanos, riesgos, costos, comunicación y evaluación que constituyen la clave para que este sistema tenga éxito.

¹⁹ Cfr. Muchiri y otros 2014: 3289

Indicadores de mantenimiento

En la actualidad se usan una serie de indicadores de mantenimiento para medir el cumplimiento de actividades, el estado de los trabajos, y metas establecidas, con el fin de ser más eficiente. El empleo de estos indicadores debe estar ajustado al tipo de organización, según sus estrategias y objetivos trazados.²⁰

Según Milton Fonseca-Junior y otros, dicen que el tiempo medio entre fallas es un valor que se le asigna a un dispositivo para describir su confiabilidad. Este valor indica cuándo se puede producir una falla en el dispositivo. Si el indicador es mayor, entonces mayor será la confiabilidad de los equipos. En consecuencia, el mantenimiento será evaluado en términos de eficiencia. Asimismo. El tiempo medio para reparar es una medida fundamental del mantenimiento de elementos reparables. Este indicador representa el tiempo medio necesario para reparar un componente que ha fallado²¹. A continuación se detallan las fórmulas para realizar estos cálculos:

Figura 5: Formulas de indicadores

$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Horas totales} - \text{horas paradas por mantenimiento}}{\text{Horas totales}}$
$\text{Tiempo promedio entre falla} = \frac{\text{Nº Hrs totales del periodo de tiempo analizado}}{\text{Nº de averías}}$
$\text{Tiempo promedio para la reparación} = \frac{\text{Nº de hrs de paro por averías}}{\text{Nº de averías}}$

Fuente: Fonseca Milton y otros 2015:146

Tipos de Mantenimiento

Mantenimiento Predictivo

La técnica del mantenimiento predictivo se aplica para mejorar las condiciones de la máquina antes de que se presente una falla, este sistema planifica las actividades de mantenimiento en tiempos programados basados en la edad del sistema. La data histórica de las máquinas ayuda a predecir con mayor certeza los tiempos de intervención.²²

Es por estas características que el mantenimiento predictivo es utilizado para anticipar problemas potenciales o necesidades de mantenimiento, mientras que el mantenimiento preventivo está programado y de rutina.²³

²⁰ Cfr. Fernandez y Shkiliova 2012:73

²¹ Cfr. Fonseca Milton y otros 2015:145

²² Cfr. Baban y otros 2016: 999

²³ Cfr. Krawcke 2015: 12

Mantenimiento Correctivo

Con referencia a este concepto los autores Primero y otros, mencionan el siguiente concepto

“El Mantenimiento Correctivo (MC) es el trabajo realizado sobre un equipo para restaurar su estado operacional luego de presentar una falla. Este tipo de mantenimiento no es planificado, y solo se lleva a cabo a partir del reporte que hace el usuario del equipo o el personal que realiza el mantenimiento programado.”(2015:82)

De la cita anterior se puede resumir que el mantenimiento correctivo se realiza de forma reactiva. Es decir, se interviene y corrige los defectos de los equipos de forma no planificada; estas fallas son comunicadas al personal de mantenimiento.

El mantenimiento correctivo resulta ser mucho más costoso que el preventivo, porque no se planifican este tipo de intervenciones, lo que genera retrasos en el sistema productivo. También, es necesario mencionar que sin importar lo bien que se planifique las intervenciones de tipo preventivas, las correctivas solo serán detectadas cuando las funciones principales del equipo están siendo afectadas.²⁴

Mantenimiento Preventivo

Es el conjunto de actividades planificadas de intervención de mantenimiento que tiene como objetivo disminuir el riesgo de ocurrencia de falla y a su vez minimizar el costo ligado a las operaciones de mantenimiento, también permite maximizar la disponibilidad de los equipos.²⁵ Sin embargo, las actividades de programación y mantenimiento de la producción se manejan por separado en la mayoría de los sistemas de fabricación reales.²⁶ Este se define Como:

"PM activities are planned to reduce the risk of failure occurrence and, either to minimise the total cost induced by both production system operations and maintenance, or to maximise the availability of the production systems ". (Khatab y otros 2013: 4132)

Según los autores Straka y Hasova, el plan de mantenimiento preventivo del equipo técnico tiene que considerar la medida necesaria con los supuestos dados:

- El tiempo de uso del equipo técnico es de duración ilimitada;
- El equipo técnico puede estar en servicio, el límite, o en estado de falla, y su condición es conocida por nosotros;
- El equipo técnico está hasta el momento de realizar el mantenimiento en orden de trabajo ininterrumpido;
- El mantener los elementos intactos, pero también perturbados del equipo técnico,

²⁴ Cfr. Primero y otros 2015:82

²⁵ Cfr. Khatab y otros 2013: 4132

²⁶ Cfr. Mokhtari y otros 2012: 5906

- Restaurar estados de servicio, puede realizarse sin demora en el momento del fallo;
- El tiempo de fallo del equipo técnico es una variable aleatoria, y tiene equipo técnicamente idéntico, la misma distribución de probabilidad en la que la tasa de falla aumenta con el tiempo debido al envejecimiento y desgaste de los elementos individuales.²⁷

El Programa de Mantenimiento Preventivo por Subconjuntos Funcionales (se denomina de esta forma porque se caracterizan por los valores funcionales de los elementos como pares cinemáticos) se estructura a partir de un manual de procedimiento, resultado del inventario del equipo, consolidación del despiece del equipo. Esto precede de una serie de procesos de investigación, con el que se logra fortalecer la información de la máquina y función de cada componente. Este tipo de mantenimiento se encamina a la consecución de los siguientes objetivos:

- Caracterización de la máquina seleccionada.
- Conformación de los subconjuntos, de acuerdo al orden de los elementos referenciados conservando el orden de desarme y armado de cada subconjunto.
- Reforzamiento de la información, con los datos de operación de los elementos referenciados de cada componente.
- Desglose del equipo e información de los componentes que conforman la máquina.
- Elaboración de manuales de procedimientos.
- Elaboración del programa de mantenimiento preventivo por subconjuntos funcionales.
- Socialización y capacitación para la implementación del Programa de Mantenimiento Preventivo por Subconjuntos Funcionales.²⁸

Beneficia en la reducción de costos asociados al mantenimiento. Ya que una avería de máquina no programada puede ser hasta cinco veces más costoso que la misma actividad pero realizada de manera programada.²⁹

Características de un Mantenimiento Preventivo

La aplicación de mantenimiento trae consigo conocimientos amplios de los equipos, por ejemplo se puede predecir los recambios o medios necesarios para la correcta intervención de las máquinas. También, se puede concretar acuerdos con los encargados de las áreas

²⁷ Cfr. Straka y Hasova 2016: 1259

²⁸ Cfr. Colmenares y Villalobos 2014:24-25

²⁹ Cfr. Mays Lora 2015: 47

productivas para buscar el mejor momento para la intervención de la máquina, además de planificar el tiempo de paro de equipo.³⁰

Asimismo, con referencia al concepto de mantenimiento preventivo, Colmenares y Villalobos añaden lo siguiente:

“La aplicación del Programa de Mantenimiento Preventivo, en ocasiones genera incertidumbre respecto a los componentes que actúan de manera paralela con el reparado, incluso hay casos en los que sirven para resaltar la anomalía de dichos componentes, consideradas menores o a su vez los reparados reciben los efectos del desgaste de los paralelos, manifestándose en daños colaterales, dejando sin sustento el mantenimiento programado.” (2014:23)

De lo citado, se puede concluir que el mantenimiento preventivo no es confiable cuando solo se repara un componente del equipo, ya que no se intervienen las otras partes y piezas de la máquina. Esto ocasiona una incertidumbre sobre la situación de los otros componentes no reparados, que si es que falla conlleva a la pérdida del mantenimiento programado.

Mantenimiento basado en la condición (MBC)

La base fundamental de esta estrategia de mantenimiento, reside en el constante monitoreo de indicadores representativos de la condición de los equipos en un tiempo definido, la evaluación varía desde sencillas inspecciones visuales hasta el uso de herramientas y técnicas de monitoreo. En el momento en el que uno de estos indicadores alcanza un determinado deterioro, se emprenden actividades de mantenimiento con el fin de restaurar el equipo en el estado deseado.³¹

Gracias a los parámetros de medición que se miden de forma continua o periódica, esta nos indica la condición de un equipo y si es que el estado ya no es aceptable se procede a sustituir el componente del equipo.³²

Las variables a medir obedecen a las condiciones de detección de fallas, ya que pueden ser internas y externas y de acuerdo a las características del equipo.³³

También, con referencia al concepto de mantenimiento basado en condición, los autores Carmen Vásquez y otros añaden lo siguiente:

“El CBM requiere de monitorear una variable estrechamente relacionada con la falla del equipo o sistema y, en este sentido, es necesario identificar el parámetro a medir.”(2012:5)

³⁰ Cfr. Depestre 2012: 8-9

³¹ Cfr. Deepak y Raj Jagathy 2014:1

³² Cfr. Mungani y Visser 2013:4

³³ Cfr. Vásquez y otros 2012: 5

En un sistema CBM el estado de un equipo puede ser evaluado en tiempo real, asimismo generalmente se clasifican en: basados en conocimiento y basados en modelos. Como todo modelo de gestión, el CBM evita detener las máquinas y equipos de forma innecesaria.³⁴

Estructura conceptual de un CBM

Para que un CBM sea efectivo es necesaria la obtención de la información de los parámetros de funcionamiento de los equipos en línea, es decir en tiempo real. El proceso comienza de acuerdo al siguiente orden: en primer lugar, obtención de señales provenientes del sistema, continua con el análisis de las señales (esta se compara con la información analítica establecida bajo condiciones normales), por ultimo finaliza con la predicción del sistema.³⁵

TPM

El TPM³⁶ es un concepto innovador de mantenimiento que se originó en Japón en los años 50, cuando el concepto de mantenimiento preventivo se introdujo en dicho país. En la actualidad las empresas a nivel mundial usan este sistema de mantenimiento eficiente, con la finalidad de ser organizaciones de fabricación de clase mundial. Es por ello, que esta metodología tiene como objetivo aumentar la disponibilidad de los equipos existente, minimizando la necesidad de nuevas inversiones de capital. Por otro lado, es necesario mencionar que ahora los clientes se concentran en la calidad del producto, el plazo de entrega y costo del producto³⁷

Otro concepto cercano a lo ya mencionado anteriormente nos dice que es una herramienta que logra implementar buenas prácticas de mantenimiento que hace que se reduzcan las fallas de los equipos, defectos de producción y accidentes. En consecuencia cumplir con los requerimientos de calidad, costo y tiempo de producción.³⁸

Los cinco pilares claves del TPM son los siguientes:

1. Capacitación para todos los involucrados.
2. Gestión de equipos de ciclo de vida y diseño de prevención del mantenimiento.
3. Involucrar a los operadores en el mantenimiento diario y rutinario del equipo.
4. Mejorar la eficacia de los equipos dirigiéndose a las principales pérdidas.
5. Mejorar la eficiencia y la eficacia del mantenimiento.³⁹

³⁴ Cfr. Quiroga y Oviedo 2011: 19

³⁵ Cfr. Quiroga y Oviedo 2011: 20

³⁶ TPM son las siglas de las palabras en inglés Total Productive Maintenance que se traduce al español como Mantenimiento Productivo Total

³⁷ Cfr. Digalwar y Nayagam 2014: 40

³⁸ Cfr. García y otros 2012: 174

³⁹ Cfr. Digalwar y Nayagam 2014: 40

Asimismo, el autor Linares Depestre añade lo siguiente con referencia al concepto de TPM lo siguiente:

“El Mantenimiento Productivo Total incorpora nuevos conceptos a la aplicación práctica del mantenimiento comparados con las generaciones anteriores, pues se incorpora a las actividades de mantenimiento a todos los operarios de producción y la participación activa de todos los empleados, además de agregar en su seno las prácticas del Mantenimiento Preventivo, Correctivo, Predictivo, las Mejoras y la Prevención del Mantenimiento.” (2012: 10)

Como menciona el autor, el TPM incorpora el concepto de la intervención de los operarios en el mantenimiento de los equipos, además de la participación activa de todos los empleados de la organización. En consecuencia se logra la reducción de cero defectos, cero accidentes y cero desperdicios aumentando la confiabilidad de los equipos, menores costos y seguridad, que repercute en el incremento de las utilidades de la organización.

TPM se puede definir en términos de OEE⁴⁰ que a su vez se puede considerar una combinación de la operación de mantenimiento, gestión de equipos, y los recursos disponibles. El objetivo de TPM es maximizar efectividad del equipo, y el OEE es la métrica básica para medir el éxito del programa de implementación de TPM.⁴¹

Diversas fuentes confirman el impacto positivo que tiene el TPM en la eficiencia y la efectividad de los sistemas, ya sea de forma individual o en combinación con otras metodologías de mejora continua, como por ejemplo; JIT⁴², TQC⁴³ o TQM⁴⁴. El enfoque del TPM es directamente hacia la mejora de los equipos de producción. Por otro lado, la elección de implantar el TPM tiene que estar relacionado con la estrategia de la organización, al tipo de industria.⁴⁵

Los fallos inesperados, el tiempo de inactividad asociado a tales fallos, la interrupción de la línea, la pérdida de producción y los mayores costos de mantenimiento son problemas importantes en cualquier planta de proceso. Medir el riesgo en el mantenimiento ayuda en el diseño de una estrategia alternativa para minimizar el riesgo resultante de averías o fallas. Por lo tanto, es esencial tomar decisiones con respecto a una selección de una estrategia de

⁴⁰ OEE son las siglas de las palabras en inglés Overall Equipment Efficiency que se traduce al español como Eficiencia General de los equipos.

⁴¹ Cfr. Bekar y otros 2015:538

⁴² JIT son las siglas de las palabras en inglés Just in Time que se traduce al español como Justo a Tiempo

⁴³ TQC son las siglas de las palabras en inglés Total Quality Control que se traduce al español como Control Total de Calidad

⁴⁴ TQM son las siglas de las palabras en inglés Total Quality Management que se traduce al español como Gestión de la Calidad Total

⁴⁵ Cfr. Marín-García y Mateo 2011: 827

mantenimiento utilizando un enfoque basado en el riesgo para desarrollar políticas de mantenimiento rentables para los sistemas automatizados.⁴⁶

Pilares del TPM

Según Marín y Martínez explican que el JIPM⁴⁷ (Japan Institute of Plan Maintenance), define los siguientes pilares del TPM:

- Pilar 1: Entrenamiento
- Pilar 2: Mantenimiento Autónomo
- Pilar 3: Mejora Enfocada
- Pilar 4: Mantenimiento Planificado
- Pilar 5: Establecimiento de un programa de gestión inicial del equipo
- Pilar 6: Establecimiento de un sistema de mantenimiento de la calidad
- Pilar 7: Establecimiento de un sistema para la mejora de la eficiencia de los departamentos administrativos
- Pilar 8: Establecimiento de un sistema para el control de la Seguridad y Salud, y el Medioambiente⁴⁸

El JIPM mediante la certificación PM⁴⁹ califica a las organizaciones que implantan adecuadamente el TPM

Beneficios y críticas del TPM

A continuación, desde el punto de vista de los autores Sivaram y otros, se menciona los siguientes beneficios que trae consigo la implantación del TPM.

1. Aumento de la productividad
2. Cultivar un sentido de propiedad en el operador mediante la introducción de mantenimiento autónomo, es decir, el operador.
3. Elevada calificación de los empleados
4. Los operadores sienten un sentido de pertenencia a través del mantenimiento
5. Mejora de la calidad de los productos
6. Producción sin defectos, ausencia de interrupciones inesperadas y libres de accidentes.⁵⁰

Por otro lado, el autor Chen, Chee-Cheng añade los siguientes beneficios:

⁴⁶ Cfr. Bekar y otros 2015:536

⁴⁷ JIPM son las siglas de las palabras en inglés de Japan Institute of Plan Maintenance que se traduce al español como Instituto Japonés de Mantenimiento

⁴⁸ Cfr. Marín y Martínez 2014: 828-829

⁴⁹ PM: Mantenimiento Productivo

⁵⁰ Cfr. Sivaram y otros 2013: 36

1. El operador del equipo asume la responsabilidad de la atención primaria de su máquina.
2. Optimiza las habilidades y conocimientos de los operadores.
3. El operador participa en la formulación de sugerencias de mejora para eliminar las pérdidas resultantes del desglose o el rendimiento sub-óptimo del equipo.
4. El uso de equipos multifuncionales, que consisten en operadores, mantenedores, ingenieros y gerentes, para mejorar el desempeño general de la planta.
5. Se establece un cronograma de limpieza y mantenimiento preventivo para prolongar la vida útil del equipo y maximizar su tiempo de actividad.⁵¹

Si bien es cierto el TPM trae consigo diversos beneficios para la empresa, también como todo modelo de gestión, tiene críticas. Es por ello que también se mencionan las siguientes apreciaciones:⁵²

1. Si se implementa el TPM simultáneamente en demasiadas las máquinas, escasea el recurso humano, en consecuencia el fracaso de la implantación del programa.
2. Los operarios de las maquinas pueden verse frustrados al aumento de carga de trabajo.

Mantenimiento centrado en confiabilidad o RCM (Reliable Centered Maintenance)

Historia del RCM

El MCC/RCM fue desarrollo por la industria de la aviación civil en los Estados Unidos. La Federal Aviation Administration (FAA) de Estados Unidos comisionó a la empresa United Airlines realizó un estudio de qué tan eficiente eran las reparaciones generales, basadas en el tiempo, de componentes complejos en los sistemas (conjunto de equipos) en las aeronaves civiles. Este estudio confirmaría o no la creencia de que estas reparaciones generales basadas en el tiempo no contribuían mucho para reducir la frecuencia de las fallas y no eran económicas. Este estudio se llevó a cabo en un momento dónde se estaban diseñando aeronaves de cuerpo amplio, y la complejidad de los sistemas de los equipos y sus componentes habrían crecido dramáticamente con respecto a los diseños anteriores⁵³

El RCM (El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad) es una metodología que se usa para determinar los requisitos de mantenimiento de los activos físicos en su contexto

⁵¹ Cfr. Chen 2013: 5406

⁵² Cfr. Sivaram y otros 2013: 36

⁵³ Cf. Barros y otros 2014: 201

operativo. Fue desarrollado por la industria de la aviación civil en los Estados Unidos.⁵⁴ En la siguiente cita se detalla esta metodología:

“Reliability Centered Maintenance, RCM, (...) es una metodología de análisis sistemático, objetivo y documentado, aplicable a cualquier tipo de instalación industrial y muy útil para el desarrollo u optimización de un plan eficiente de mantenimiento preventivo. Es un procedimiento estructurado para determinar la política de mantenimiento más adecuada para cada activo físico de una planta industrial, atendiendo a su contexto operacional.” (Díaz Concepción y otros 2016: 137)

Según lo citado, esta metodología permite determinar lo que se debe hacer a un activo para que continúe funcionando en su contexto operacional. Esta determinación de lo que se debe hacer garantiza un eficiente plan de mantenimiento preventivo.

El RCM se enfoca en la confiabilidad de un activo, planta o sistema dentro de su contexto operativo. También, ayuda a determinar los requisitos de mantenimiento de todas las máquinas de acuerdo a su contexto operacional y que a su vez permite decretar cada una de las actividades de mantenimiento con el propósito de asegurar que el equipo cumpla su función para la que fue diseñado.⁵⁵

“(...) [EL RCM] ha sido definido como un proceso para mantener o mejorar la confiabilidad, disponibilidad y seguridad, así como controlar el costo de mantenimiento al reducir la cantidad de mantenimiento que se requiere, combinando varias técnicas y herramientas que permiten desarrollar el análisis de riesgo, a partir de las hojas de decisión que se fundamentan en el análisis de riesgos y las tareas de mantenimiento que permitan ser aplicado en las áreas problemas.” (Barros y otros 2014:201)

Descuerdo a lo citado el RCM es una herramienta que mide el rendimiento del sistema mediante la confiabilidad, disponibilidad, seguridad y costos, los resultados sirven para diseñar eficientemente las tareas de mantenimiento.

Proceso de análisis del RCM

Las compañías siempre están buscando que sus activos físicos puestos en funcionamiento cumplan con las tareas asignadas. Para ello, se debe preservar el activo para que continúen funcionando en el contexto operacional. Las exigencias que se espera de algún activo va a depender de donde y como se utilice. En este sentido, el RCM es un proceso estructurado que es utilizado para determinar qué equipo va a ser estudiado, para luego recopilar información relacionada con la máquina (catálogos, manuales, intrusiones, folletos, etc.). Esta información

⁵⁴ Cf. Barros y otros 2014: 201

⁵⁵ Cfr. Barros y otros 2014:200

servirá en la fase de Análisis de modo de fallo y sus causas, también servirá para el control de la documentación.⁵⁶

El mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) es el proceso de determinar el enfoque de mantenimiento más eficaz. La filosofía de RCM emplea el mantenimiento preventivo (PM), el mantenimiento predictivo (PdM), el monitoreo en tiempo real (RTM), el funcionamiento a fallo (RTF, también llamado mantenimiento reactivo) y técnicas de mantenimiento proactivo de una manera integrada para aumentar la probabilidad que una máquina o componente funcionará de la manera requerida durante su ciclo de vida de diseño con un mínimo de mantenimiento.⁵⁷

A partir de lo leído se entiende que el RCM requiere que las decisiones de mantenimiento se basen en requisitos de mantenimiento respaldados por justificación técnica y económica.

Los pasos para la recopilación de la documentación empieza por la elección de los equipos, recolección de la información, generación de una tabla de contenido, organización de la documentación de acuerdo con dicha tabla, clasificación de la carpeta en el repositorio común. Las tablas de contenido sirven para que los técnicos de mantenimiento puedan acceder de manera rápida para buscar documentos puntuales de cualquier incidencia que requiera una consulta. Además, los técnicos se familiarizan con mayor rapidez sobre los activos que analizaran y esto a su vez reduce la mantenibilidad de los activos.⁵⁸ En la siguiente cita se fundamenta lo expuesto anteriormente:

“RCM is a structured process, which develops or optimises maintenance requirements of a physical resource in its operating context in order to realise its inherent reliability by logically incorporating an optimal combination of reactive, preventive, condition-based and proactive maintenance practices.”(Fore y Mudavanh 2011: 204)

De lo citado, se concluye que el RCM incorpora una combinación de mantenimiento reactivo, preventivo y proactivo, con el propósito de ayudar a optimizar los requerimientos de mantenimiento.

En la figura 6 se muestra la estructura de RCM y los tipos de mantenimiento que la componen y como están relacionadas.

⁵⁶ Cfr. Unzueta Aranguren G y otros 2014: 349

⁵⁷ Cfr. Cadick y Capelli 2012: 6.4.1

⁵⁸ Cfr. Unzueta-Aranguren G y otros 2014: 349

Figura 6: Estructura del RCM

Fuente: Cadick y Capelli 2012: 6.4.6

En esta figura se aprecia cómo está organizado un programa de RCM, esto también muestra que todos los mantenimientos son importantes para el RCM.

Principios de RCM

La mayoría del mantenimiento diferido desde una perspectiva centrada en RCM es permitida por las inspecciones de rutina que su personal ya realiza (mantenimiento predictivo). Estos controles pueden mostrar que un PM específico podría extenderse al siguiente período o más, sin afectar la fiabilidad de los equipos.⁵⁹

RCM busca preservar los equipos por medio de un mantenimiento planificado con mayor nivel de precisión, con efectos en la preservación de los equipos para mejorar su confiabilidad funcional. En este sentido, se garantiza la función del sistema atacando los modos de falla y sus consecuencias.⁶⁰

RCM es aceptado por las empresas industriales, ya que está orientado a mejorar la seguridad y disponibilidad de los equipos mediante la recomendación e implementación de mejoras, rediseños, tareas de mantenimiento y modificaciones en la operación.⁶¹

El RCM busca la confiabilidad inherente del diseño del equipo, de lo contrario examina sus limitaciones de diseño. El mantenimiento lograr mantener el nivel de confiabilidad del equipo, que está previsto en el diseño. La retroalimentación de mantenimiento puede mejorar las limitaciones del diseño original del equipo y asegurar la seguridad de operación. También,

⁵⁹ Cfr. Lehan 2012: 33

⁶⁰ Cfr. Suthep y Kullawong 2015: 443

⁶¹ Cfr. Unzueta y otros 2014: 350

define la falla como la pérdida de función donde la operación cesa o continúa con una calidad aceptable.⁶²

En la tabla 1 se muestra las preguntas para realizar tareas de mantenimiento de todo tipo de equipos.

Tabla 1: Las 7 preguntas del RCM

Pregunta	Descripción
Pregunta N° 1	¿Qué sucede cuando ocurren fallos (efectos de falla)?
Pregunta N° 2	¿Cuál es la evidencia (si existe) de que el fallo ha ocurrido (en el caso de funciones ocultas, qué sucedería si ocurren múltiples fallos)?
Pregunta N° 3	¿Qué hace (si algo) matar o dañar a alguien, o tener un efecto adverso en el medio ambiente?
Pregunta N° 4	¿Qué hace (si algo) tiene un efecto adverso en la producción o las operaciones?
Pregunta N° 5	¿Qué daño físico (si alguno) es causado por el fallo?
Pregunta N° 6	¿Qué (si hay algo) se debe hacer para restaurar la función del sistema después de la falla?
Pregunta N° 7	¿Qué hacerse para prevenir la falla?

Fuente: Adaptado de Cadick y Capelli 2012: 6.4.6

La metodología RCM identifica todos los aspectos de función del sistema que pueden fallar, lo que posteriormente determinar el mantenimiento adecuado para las fallas identificadas. El RCM se enfoca en la conservación de la función del sistema, identifica todos los modos de fallo que pueden hacer que el sistema no funcione adecuadamente y determina las consecuencias de las fallas y las prioriza en función de su criticidad.⁶³

La implementación de los programas de RCM representa un paso significativo en la dirección de aprovechar al máximo el equipo de los accidentes relacionados con la aviación y la naturaleza crítica de algunos equipos. Además, este sistema puede tomar mucho tiempo antes de que se recopilen datos suficientes para hacer tales juicios. Por esta razón, varios modelos matemáticos se han propuesto para ayudar a la programación de mantenimiento.⁶⁴

⁶² Cfr. Cadick y Capelli 2012: 6.4.4

⁶³ Cfr. Ahmad y AhasanKarim 2017: 123

⁶⁴ Cfr. Khalaf 2015:941

Pasos para la implementación del RCM

Para la implementación de la metodología RCM se tiene que aplicar una serie de pasos como lo detalla Kianfar y Kianfar. A continuación se describe el detalle:

- A. Selección del sistema y recopilación de información relevante para su posterior análisis.
- B. Definición de límites del sistema: en este paso se define el límite físico del sistema y los equipos principales o máquinas que lo componen.
- C. Descripción del sistema y diagrama de bloques funcional: en este punto se desarrollan cinco elementos de información vitales para la aplicación de la metodología:
 - I. Descripción del sistema: en esta etapa del proceso de análisis, se recoge una gran cantidad de información sobre lo que constituye el sistema y cómo funciona.
 - II. Diagrama de bloques funcional: Es una representación de las funciones que realiza el sistema seleccionado y cada bloque es denominado subsistemas funcionales del sistema.
 - III. Estructura de desglose del sistema: esto se utiliza para describir la compilación de la lista de equipos, máquinas y componentes del sistema, y para cada uno de los subsistemas funcionales mostrados en el diagrama de bloques funcional.
 - IV. Historia del equipo: en este punto se recompila la data histórica de las fallas de los equipos que han experimentado los últimos dos o tres años.
- D. Funciones del sistema y fallos funcionales. En este paso se definen las funciones y las fallas funcionales para cada sistema funcional capturando cada interfaz de salida.
- E. Modos de falla y análisis de efectos. En este paso para cada fallo funcional se definen los modos de fallo de componentes específicos y la causa raíz para cada modo de fallo.
- F. Clasificación de los modos de falla. El propósito de este paso es clasificar los modos de fallo con el fin de priorizarlos para asignar los recursos de mantenimiento de la organización a ellos.⁶⁵

A partir de lo descrito se entiende que los pasos para la implementación de esta metodología en una empresa, se toma en cuenta la operación global de mantenimiento para desarrollo de todas las herramientas que se va a aplicar en el sistema seleccionado.

⁶⁵ Cfr. Kianfar y Kianfar 2010: 356

Herramientas del RCM

Árbol de decisión lógico

La clave del análisis de RCM es la lógica de decisión, es decir después de conocer las fallas funcionales del sistema se detectan los modos de falla de componentes más específicos, sus causas y sus efectos. Para cada uno de los modos de falla se utiliza el árbol de decisión como se muestra en la figura 7. La lógica de RCM se aplica a cada modo de fallo listado en la hoja de trabajo de FMECA, cuyos resultados del análisis proporcionan una decisión clara sobre qué tareas de mantenimiento preventivo deben desarrollarse para soportar un sistema.⁶⁶

Figura 7: Árbol de decisión

Fuente: Ahmad y Ahasan 2017: 127

⁶⁶ Cfr. Ahmad y Ahasan 2017: 125-126

Cronograma de mantenimiento

El proceso de análisis de RCM da como resultado una lista de tareas de mantenimiento de programación. Los datos requeridos para el plan de mantenimiento son: información del equipo, información de fallas, información de anteriores mantenimientos, datos de los costos de anteriores labores de mantenimientos, inventario de repuestos, repuestos críticos, herramientas usadas en los trabajos de mantenimientos anteriormente realizadas, y componentes de las piezas y partes de los equipos.⁶⁷

Por lo tanto, se desarrollara un plan sistemático de mantenimiento, que serán ejecutados por el personal técnico de mantenimiento, asimismo un plan de mantenimiento autónomo realizado por el personal de producción. Normalmente, las frecuencias de tareas serán períodos aleatorios de tiempo o eventos. Es normal que las tareas se consoliden en grupos de incremento de tiempo razonables.⁶⁸ Por ello, se debe realizar un análisis detallado de la tasa de deterioro y los factores ambientales para evaluar el riesgo de aumentar la frecuencia.

FTA

FTA es una técnica flexible aplicable igualmente al análisis cuantitativo y cualitativo que es fácil de usar y entender.

FTA es una técnica racional, es decir el análisis de funcionamiento se realiza desde arriba hacia abajo, en donde se asume que el sistema ha fallado y después de ello se trata de averiguar por qué falló la pieza o parte de la máquina. Se hace el análisis de la causa de la falla en un proceso de inversa para determinar qué posibles combinaciones de eventos podrían haber causado la falla. La falla del sistema se convierte en el evento de nivel superior en el árbol de fallas y las fallas de componentes individuales forman los eventos básicos (niveles inferiores). Todos ellos se combinan utilizando una red de puertas lógicas⁶⁹

FMEA

FMEA, por el contrario, es una técnica inductiva que funciona desde abajo hacia arriba - asumiendo una falla de componente ha ocurrido y luego evaluar los efectos de ese evento inicial en el resto del sistema. El resultado final es una tabla de fallas y sus efectos en el sistema, que proporciona al analista una visión general de las posibles fallas. Por lo general, estos efectos se evalúan de acuerdo con una serie de criterios, tales como gravedad (S), ocurrencia (O) y detectibilidad (D).⁷⁰

⁶⁷ Cfr. Felecia 2014: 122

⁶⁸ Cfr. Unzueta y otros 2014: 350

⁶⁹ Cfr. Chen 2013: 5405

⁷⁰ Cfr. Chen 2013: 5405

Jerarquización de los equipos

Cuando se realiza la jerarquización de equipos, se determina los subsistemas que componen la planta y posteriormente los activos que componen cada subsistema. Después de esta identificación se definen los objetivos, las responsabilidades en el plan de mantenimiento. También, es de vital importancia discretizar los activos físicos de la organización en base a su criticidad, para identificar el impacto en el sistema productivo global.⁷¹

“El análisis de criticidad es un conjunto de metodología que permite definir la jerarquía o prioridades de un proceso, sistema, equipos y/o, según el parámetro de valor conocido como “Criticidad” que es proporcional al “Riesgo”, generando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando los esfuerzos y recursos técnico-económicos en áreas y eventos que tienen mayor impacto en el negocio.”(Viveros y otros 2013: 130)

De la cita anterior, se determina que al identificar la criticidad de un activo se evita grandes pérdidas para la compañía en relación con la producción. Un activo crítico en un sistema de producción puede dejar desabastecido los procesos subsecuentes de ese sistema o de otros subsistemas que dependan de esta.

Para medir la criticidad de los activos, se considera el producto de la frecuencia por la consecuencia de la falla. La frecuencia de falla se da en un intervalo de tiempo determinado y para cuantificar la consecuencia de la falla se utiliza la ponderación de varios factores o criterios en función de las necesidades de la organización. Entonces, la Frecuencia es el número de Fallas en un tiempo determinado y la consecuencia es $(\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costos de Mantenimiento} + \text{Impacto (Seguridad - Ambiente)}$.⁷² Ver Figura 8.

⁷¹ Cfr. Viveros y otros 2013: 130

⁷² Cfr. Viveros y otros 2013: 130 - 131

Figura 8: Matriz genérica de criticidad

MATRIZ DE CRITICIDAD							
FRECUENCIA	1	2	.	.			
	SC	SC	C	C	C	C	C
	2	SC	SC	SC	C	C	C
	.	NC	SC	SC	SC	C	C
	.	NC	NC	SC	SC	SC	C
	N	NC	NC	NC	SC	SC	C
CONSECUENCIA							
1 2 . . M							

Fuente: Viveros y otros 2012: 131

Especificaciones

Enseguida, se detalla este concepto según los autores Unzueta-Aranguren G y otros:

En las especificaciones se debe determinar el lugar de operatividad de los equipos y toda la información de ellos. En este sentido, las exigencias que se espera de algún activo va a depender de donde y como se utilice. Entonces, para determinar esta especificaciones se hace uso del RCM, para determinar qué equipo va a ser estudiado, para luego recopilar información relacionada con la máquina (catálogos, manuales, instrucciones, folletos, etc.).

La información recopilada servirá en la fase de Análisis de modo de falla y sus causas, también servirá para el control de la documentación. Los pasos para la recopilación de la documentación empieza por la elección de los equipos, recolección de la información, generación de una tabla de contenido, organización de la documentación de acuerdo con dicha tabla, clasificación de la carpeta en el repositorio común. Las tablas de contenido se utilizan para que los técnicos de mantenimiento puedan acceder de manera rápida para buscar documentos puntuales de cualquier incidencia que se necesite una consulta. Además, los técnicos se familiarizan con mayor rapidez sobre los activos que analizaran y esto a su vez reduce la mantenibilidad de los activos.⁷³ En la siguiente cita se fundamenta lo expuesto anteriormente:

“RCM is a structured process, which develops or optimises maintenance requirements of a physical resource in its operating context in order to realise its inherent reliability by logically

⁷³ Cfr. Unzueta-Aranguren G y otros 2014: 349

incorporating an optimal combination of reactive, preventive, condition-based and proactive maintenance practices.”(Fore y Mudavanhu 2011: 204)

De lo citado, se concluye que el RCM incorpora una combinación de mantenimiento reactivo, preventivo y proactivo, con el propósito de ayudar a optimizar los requerimientos de mantenimiento.

Función

A continuación, según los autores Barros y otros con referencia al concepto de funciones de un equipo mencionan lo siguiente:

Las funciones de un equipo representa todas las actividades de un activo físico involucradas en la transformación del materia prima dentro de un sistema o subsistema. Es la razón por la que una compañía adquiere un activo físico. Las funciones de estos activos se clasifican en funciones primarias y secundarias.

a. Funciones Primarias

Estas funciones son las que se deben tener en cuenta al momento de adquirir un activo o cuando se interviene. Algunas de estas categorías de funciones de los activos están relacionadas con la capacidad de producción, velocidad, calidad y seguridad. Las funciones primarias de los activos están determinadas por su tipo o para que fueron creadas, es decir no todos tienen las mismas funciones primarias.

b. Funciones secundaria

Los equipos cumplen con sus funciones primarias y son complementadas con otras funciones que ayudan con las aéreas de seguridad, economía, eficiencia operacional, cumplimiento de regulaciones ambientales, etc.⁷⁴

Modos de fallo

El RCM se caracteriza por el análisis sistemático de modos de fallas y la determinación del contexto operacional del equipo evaluado. Para identificar los modos de fallas se debe recopilar información adecuada de cada falla, estos incluyen, el modo de falla, causa de falla, consecuencias de falla, descripción de falla y clase de gravedad.⁷⁵

La información de los modos de fallo deben precisar el tiempo de inactividad, tiempo de reparación y de restauración de los activos, esta información es de vital importancia para el

⁷⁴ Cfr. Barros y otros 2014: 201

⁷⁵ Cfr. Barros y otros 2014: 200

mantenimiento preventivo o correctivo que se llevara cabo.⁷⁶ En la siguiente cita el autor Felecia explica el análisis de los modos de fallo:

“RCM encompasses the well-known Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) methodology. FMEA starts with making an end item breakdown into significant functional or hardware items, identifying system boundaries, and showing the relationships of components or functions with each other. The FMEA defines the significant item(s) and establishes the cause and-effect relationships among its/their function(s), functional failures(s) and failure mode(s), the end effects of the functional failures, and the consequences of failure(s), which aims at determining possible system states under the assumption of the presence of certain failures. This includes the determination of local effects, system effects, end effects and the failure detection methods (...).” (Felecia 2014:122)

De lo citado anteriormente se concluye que la identificación de los modos de fallo permite definir los fallos más significativos para establecer sus causas y efecto en los sistemas o subsistemas.

Herramientas y Técnicas de Mejora Continua

Diagrama de Flujo

Los diagramas de flujo son una manera de representar visualmente el flujo de datos a través de sistemas de tratamiento de información. Los diagramas de flujo describen que operaciones y en que secuencia se requieren para solucionar un problema dado. Es una cadena de diferentes símbolos que representan actividades relacionadas secuencialmente que pretende mostrar un proceso de modo simple y gráfico⁷⁷.

Utiliza una simbología estandarizada y permite explicar a terceros como se relaciona un trabajo con otras actividades en la empresa como se observa en la Figura 9.

⁷⁶ Cfr. Felecia 2014:122

⁷⁷ Cfr. González, C. & Domingo, R. & Pérez, M. 2014: 129-130

Figura 9: Diagrama de flujo

Fuente: González, C. & Domingo, R. & Pérez, M. 2014: 129

Diagrama de Árbol

Es una técnica empleada con el objeto de relacionar medios y fines, o bien fines que son medios para alcanzar otros fines más generales. Para su ejecución se aplica los siguientes pasos⁷⁸:

Definición del fin que es objeto de estudio, de forma sencilla, pero dejando claro el propósito del mismo. Si fuera necesario, también se especifican los posibles condicionantes en la definición, pues van a limitar el proceso de resolución. Por ejemplo: Aumentar la capacidad de producción.

Determinación del enfoque a emplear para la identificación de los medios necesarios para lograr el fin. Para ello, puede emplearse:

Una clasificación lógica, identificando los medios principales, que a su vez se convertirán en fines; el proceso continúa identificando a su vez, para aquellos últimos los medios secundarios. Ver figura 10

⁷⁸ Cfr. González, C. & Domingo, R. & Pérez, M. 2014: 103-105

Figura 10: Diagrama de árbol

Fuente: González, C. & Domingo, R. & Pérez, M. 2014: 104

Diagrama de Pareto

Esta herramienta permite determinar que, para muchos eventos, aproximadamente el 80% de los efectos provienen del 20% de las causas. Esto significa que hay pocas variables vitales que afectan mucho al sistema⁷⁹. Los pasos son:

Determinar el tiempo que se asignará para recabar datos, puede ser el caso de que solo se requieran unas cuantas horas o también varios días. Si se hacen consideraciones minuciosas se asegurará un mínimo de problemas más adelante.

Elaborar una hoja de trabajo que permita la recopilación de datos. Puede ser general para que la información se acomode de diferentes maneras.

Anotar la información de acuerdo a la frecuencia (tiempo) de aparición en forma descendente en la hoja de trabajo diseñada:

Vaciar los datos de la hoja de trabajo en la gráfica de Pareto que se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2: Esquema de Análisis de Pareto

Actividad	Frecuencia	Frecuencia Acumulada	% de Frecuencia Acumulada
Operación			
Demora			
Revisión			
Traslado			
Archivo			
TOTAL	-		100%

Fuente: Adaptado de Stachú, S. 2011: 11

⁷⁹ Cfr. Stachú, S. 2011:5-10

Casos de Éxito

Caso 1: Aplicación de RCM en una refinería

El estudio de caso del modelo de refinería en Rayong durante 2011 - 2013 se centró en dos tipos de fallas en el equipo que eran piezas instrumentales y mecánicas. Encontrándose en la conclusión que frecuencia del fallo del dispositivo fue hasta 55 veces, sobre todo en el dispositivo mecánico más que el controlado dispositivo. Para ello se midieron las condiciones de fallo y encontró varias causas, tales como un calor atascado intercambiador, una brida filtrada, un aislamiento dañado de los equipos mecánicos, un motor con falsa lectura de valores, resortes rotos y válvulas, etc.⁸⁰

El objetivo de la empresa se centró en la reducción de los costes de reparación y de oportunidad de la producción mediante el Mantenimiento centrado en la fiabilidad y determinar el plan de mantenimiento preventivo de las máquinas.

La empresa aplicó la técnica del mantenimiento centrado en la fiabilidad mediante la optimización del mantenimiento preventivo del modelo de refinería, también aplicó el análisis de condiciones inusuales, junto con los daños de la máquina individual.

Esta política de mantenimiento preventivo (PM) se utiliza para realizar el mantenimiento de los componentes de manera que sus fallos puedan evitarse. Los detalles de la implementación fueron los siguientes:⁸¹

1. Evaluación del nivel de importancia: esto se basa en el falla o el mal funcionamiento de los resultados, las especificaciones del producto, la seguridad del producto, las leyes y reglamentos y el medio ambiente. Ver tabla 3

Tabla 3: Evaluación de la importancia de las maquinarias

No.	Machine	Type of machine	Detail	Priority
1	K1702	Compressor Centrifugal	Recycle Gas Compressor	A
2	K2101	Compressor Centrifugal	Air Blower	A
3	K2201	Compressor Centrifugal	Air Blower	A
4	K2802	Compressor Centrifugal	Recycle Gas Compressor	A
5	K1701A	Compressor Reciprocating	Fresh Gas Compressor	B
6	K1701B	Compressor Reciprocating	Fresh Gas Compressor	B
7	K1701S	Compressor Reciprocating	Fresh Gas Compressor	B
8	K2601A	Compressor Reciprocating	Air Compressor Package	B
9	K2601B	Compressor Reciprocating	Air Compressor Package	B
10	K2801A	Compressor Reciprocating	Fresh Gas Compressor	C
11	K2801B	Compressor Reciprocating	Fresh Gas Compressor	C

Fuente: Nakamanuruck y otros 2016

⁸⁰ Cfr. Nakamanuruck y otros 2016: 248

⁸¹ Cfr. Nakamanuruck y otros 2016: 251

3. El mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) es el proceso de encontrar los componentes del mantenimiento y su organigrama. Ver figura 11

Figura 11: Análisis RCM

Fuente: Nakamanuruck y otros 2016: 246

Factores encontrados

El equipo en el compresor de gas reciclado consta de 154 dispositivos y puede ser clasificado en 5 categorías como sigue: Estática (47 partes), mecánica (10 partes), instrumento (77 partes), eléctrica (3 partes) y etiqueta ficticia (17 partes).

- Se esperaba poder solicitar el mantenimiento centrado en la fiabilidad para el mantenimiento preventivo en el modelo de la refinería. Suponiendo que el compresor de gas reciclado funcionara 24 horas a lo largo del año y que la pérdida de costo de oportunidad de producción se utilizaría para calcular las pérdidas financieras. Esta evaluación se basó en un precio medio en 2013.
- En esta investigación se analizó el AMEF para determinar la causa del daño del equipo, al determinar la función de los dispositivos, los modos de falla, la causa de la falla y el efecto de falla que ocurrieron en los dispositivos, entonces, se evaluando los riesgos y se dio prioridad a los dispositivos.

- El RPN se calcula mediante "Severidad x Detección de Ocurrencia x. La gravedad, con este indicador se evalúo el grado de la situación de daño, el resultado fue entre 1 y 10. La ocurrencia es para evaluar la probabilidad de que el dispositivo se dañe, este osciló entre 1 - 10. La detección es para evaluar la capacidad de saber si el dispositivo está dañado, este también oscila entre 1 y 10.⁸²

Resultados

Después de analizar el proceso, se encontró que el equipo de alto riesgo debería tener la primera prioridad para el próximo plan de mantenimiento. El análisis del modelo y el impacto del daño podrían clasificarse como crítico, no crítico y ningún plan de mantenimiento para algunos equipos. En resumen, los números de importancia del equipo en el compresor de gas reciclado se pueden clasificar de la siguiente manera: El componente crítico (12 partes), no crítico (128 partes) y sin plan PM o partes RTF (14 partes). La tabla 4 muestra el ejemplo del análisis de daños.⁸³

Tabla 4: Ejemplo del análisis del nivel de riesgo

Machine and equipment : Recycle Gas Compressor	
Function of equipment	Centrifugal gas flow
Failure Mode	Failure to run, External leaks
Failure Cause	<ul style="list-style-type: none"> - Loss or inadequate lubrication - Aging / Cyclic Fatigue - Bearing seizure / Failure - Bolt looseness - Coupling failure / Wear - Structure defective / Erosion - Seal leakage / Flange leak - Rotor wear - Unbalance / Vibration - Surge
The intensity level	10
Opportunity for occurrence	Medium to high (1 in 5 years)
Scores of frequency	6
Opportunity for detecting	Very low (PM 6-12 months)
Scores of opportunity for detecting	8
Scores of risk (RPN)	480
Risk Level	Medium

Fuente: Nakamanuruck y otros 2016: 247

Planificación de mantenimiento preventivo para el equipo, que se muestra en la tabla 5

⁸² Cfr. Nakamanuruck y otros 2016: 248

⁸³ Cfr. Nakamanuruck y otros 2016: 250

Tabla 5: Programa de mantenimiento preventivo

Machine and equipment: Recycle Gas Compressor	
	<ul style="list-style-type: none"> - Rotor wear - Unbalance / Vibration - Surge
Scores of risk (RPN)	480
Risk Level	Medium
Preventive Maintenance (Before)	<ul style="list-style-type: none"> - Spectrum Vibration Analysis (Each 6 months) - Changed seal and inspect bearing (Each 1 turnaround) - Inspection compressor (Each 2 turnaround)
Preventive Maintenance (After)	<ul style="list-style-type: none"> - Full Spectrum Vibration Analysis (Each 6 months) - Analyzed quality of lubricant (Each 6 months) - Check suction pressure (Each 12 hours) - Check discharge pressure (Each 12 hours) - Check seal oil inlet pressure (Each 12 hours) - Check lube oil return temperature (Each 12 hours) - Check seal oil return temperature (Each 12 hours) - Check N2 seal gas pressure (Each 12 hours) - Check lube oil return flow (Each 12 hours) - Check seal oil differential pressure (Each 12 hours) - Perform compressor inspection (Each 2 turnaround) - Changed wet seal and inspect bearings (Each 1 turnaround)

Fuente: Nakamanuruck y otros 2016: 248

Después de conocer el tiempo de ciclo de mantenimiento preventivo apropiado, sobre la base de la confiabilidad, las tareas de mantenimiento serán requeridas para realizar en el próximo plan de mantenimiento. Ver tabla 6

Machine and equipment: Recycle Gas Compre

Before created PM plan		Detail of PM plan	After created PM plan				
Scores of risk (RPN)	Risk Level		The intensity level	Scores of frequency	Scores of opportunity for detect	Scores of risk (RPN)	Risk Level
480	Medium	<ul style="list-style-type: none"> - Check suction pressure (every 12 hours) - Check discharge pressure (every 12 hours) - Check seal oil inlet pressure (every 12 hours) - Check lube oil return temperature (every 12 hours) - Check seal oil return temperature (every 12 hours) - Check N2 seal gas pressure (every 12 hours) - Check lube oil return flow (every 12 hours) - Check seal oil differential pressure (every 12 hours) - Perform compressor inspection (every 2 turnaround) - Changed wet seal and inspect bearings (every 1 turnaround) 	10 (Opportunity for occurring Low 1 in 9 years)	4 (Opportunity for detect medium to high recorded every 24 hours)	5	200	Medium

	Before PM plan
--	----------------

Machines	Frequency of failure	% OEE	Frequency of failure	% OEE
Recycle gas compressor	2	88.54	0	100.00
Recycle gas compressor turbine	3	83.63	0	100.00
Anti-surge control devices (A, B)	0	100.00	1	92.40
Recycle gas intake anti-surge control	2	93.99	1	93.95
Recycle gas exit anti-surge control	1	98.91	0	100.00
Suction isolation valve	1	91.48	0	100.00
Discharge isolation valve	0	100.00	0	100.00
Discharge safety release valve	7	85.87	1	93.37
Speed control device	0	100.00	0	100.00
Anti-surge recycle gas to the mixer	3	85.48	1	96.00
Total	19	92.66	4	98.00

34

El OEE antes de la programación del plan de mantenimiento preventivo fue de 92.66% y después de que se determinó la planificación del plan PM, el porcentaje de OEE aumentó a 98.0% (o aumentó 5.34%), lo que puede ahorrar el costo de mantenimiento hasta 1.510.827 Baht al año. Ver tabla 7

Caso 2: Aplicación de RCM II en una planta de producción de lingotes de plomo

En las siguientes páginas, según los autores Barros y otros, se detallaran como se tuvo éxito la implantación del RCM II en una fábrica de baterías, de la planta destinada a la producción de lingotes de plomo de la línea automotriz, que tiene una tasa de producción de 600 lingotes por hora.

Problemática

La empresa no contaba con un programa de mantenimiento, por lo que la vida útil de sus activos (Agitador y Bomba crisol) era inferior a los establecido, además de que el tiempo medio entre fallos era elevada.⁸⁵

Ejecución

Pasos para la aplicación del RCM II

A continuación se muestra lo pasos usados para la elaboración del plan de mantenimiento RCM II. Ver figura 12

Fuente: Barros y otros 2014:201

⁸⁵ Cfr. Barros y otros 2014:200

Los pasos de la figura anterior ha sido utilizada como base para la aplicación del plan de mantenimiento RCM II.

A. Definición del equipo del trabajo

Este grupo estuvo conformado por la gerencia de mantenimiento y producción. Estos departamentos esta conformados por 1 ingeniero de confiabilidad, 1 supervisor de mantenimiento, 2 operadores de planta, 1 supervisor de mantenimiento, y 1 técnico mecánico y electricista respectivamente.

B. Selección del sistema y definición del contexto operacional

Se empleó el nivel de sistema y con ello se determinó el área de producción de lingotes de plomo para la implantación del plan de mantenimiento.

C. Establecimiento del diagrama de proceso

Se verifico el proceso desde la fundición de materia prima (lingotes de plomo crudo y aleaciones), seguido del bombeo, transporte y dosificación en cubas de refrigeración. En la figura 13 se muestra el proceso de producción de lingotes de plomo.

Figura 13: Diagrama del proceso planta de producción de lingotes de plomo

Fuente: Barros y otros 2014:202

D. Realización de inventarios de equipos

Se inventario los siguientes equipos:

1. Bomba de crisol de 5HP
2. Agitador de 7.5HP

3. Crisol de fundición de plomos (32 Ton Max)
4. Ventilador de extracción de crisol (20HP)
5. Quemador de crisol (2HP)

E. Definición de las funciones del activo físico

Se pudieron identificar 32 funciones para la sección de Crisol de metalurgia. Esto gracias al empleo de la siguiente pregunta: ¿Para qué se compró el activo físico?

Como parte de la realización de este análisis funcional, fue necesario identificar la función principal y secundaria del sistema.

Como resultado del análisis se pudo identificar la función principal del sistema, que es el siguiente:

“Fundir plomo, mediante un quemador (170-850 KW Kcal) crudo (máximo 32 Ton) desde 33 C hasta 327 C, sin llegar fracturarse o romperse, y a 1 atm de presión durante un tiempo promedio de 5 a 6 h. Bajo las normas de seguridad y operación debidamente establecidos”

Las funciones restantes se clasificaron como secundarias, pero no por ello dejan de ser importantes.

F. Definición de las fallas funcionales (FF)

En este punto se formularon las siguientes preguntas: ¿De qué manera pueden fallar? ¿Pueden fallar de una forma total o parcial? De este cuestionamiento se detectó 78 fallas funcionales para la sección de crisol de Metalúrgica y 14 fallas funcionales para la sección de Lingotera de Metalurgia.

G. Definición de Modos de fallas (MF)

Para este punto se realizó la siguiente pregunta: ¿Qué origina una falla? De este cuestionamiento se establecieron 149 modos de falla para la sección de Crisol de Metalurgia y 72 modos de falla para la sección de Lingotera de Metalurgia.

H. Definición de los Efectos de Fallas (EF)

En este apartado se identificaron cuáles fueron los efectos que generan estas fallas. Para ello se respondieron las siguientes preguntas: ¿Qué pasa cuando falla? ¿Qué ocurre en la maquina? ¿Cómo se manifiesta la falla? ¿El modo de falla se hace evidente al operador? ¿El modo de falla amenaza la seguridad o medio ambiente, producción, operaciones y daños físicos causados por las fallas?

Se identificaron los siguientes efectos de fallas: 149 para la sección de Crisol de Metalurgia y 72 para la sección de Lingotera de Metalurgia.

I. Jerarquización del riesgo

Después de haber realizado la valoración del riesgo de la planta que ocasionan los modos de falla. La valoración de dependerá del resultado del producto de la frecuencia de aparición por las consecuencias, una vez identificadas los riesgos se deben crear unas tablas para jerarquizar los riesgos que tienen mayor impacto en la seguridad de la planta. La criticidad de los equipos es definida de la siguiente manera: Riesgo bajo, medio, medio alto y alto.

Se elaboró una tabla donde se categorizo las frecuencias de acuerdo al número de incidencias mensual. Figura 14

Figura 14: Categorías de frecuencias

Categoría	Concepto	Valor
Muy baja.	0 a 1 vez al mes.	1
Baja.	2 a 3 veces al mes.	2
Media.	4 a 5 veces al mes.	3
Alta.	Más de 5 veces al mes.	4

Fuente: Barros y otros 2014:206

En la figura 14 se visualiza como se categorizo la frecuencia para el número de incidencias en la jerarquización de riesgos. Después de la categorización de frecuencias se elaboró una tabla de consecuencias. Ver tabla 8

Tabla 8: Categorías de consecuencias

Categoría	Concepto	Valor
Leve.	Consecuencia leve para el medio ambiente, la seguridad del operador, o la operación de la máquina.	11
Media.	Consecuencia media para el medio ambiente, la seguridad del operador, o la operación de la máquina.	21
Grave.	Consecuencias grave para el medio ambiente, la seguridad del operador, o la operación de la máquina.	31
Muy grave.	Consecuencias muy grave para el medio ambiente, la seguridad del operador, o la operación de la máquina.	47

Fuente: Barros y otros 2014:206-207

La tabla anterior (categorías de consecuencias) ayudo a elaborar la matriz riesgo.

A continuación, se elaboró la tabla 9 matriz riesgo.

Tabla 9: Matriz de riesgo para RCM II

Alta	44	84	124	188
Media	33	63	93	141
Baja	22	42	62	94
Muy baja	11	21	31	47
	Leve	Media	Grave	Muy Grave

Fuente: Barros y otros 2014:207

La tabla anterior se elaboró con la finalidad de identificar las zonas o niveles de calidad.

En la tabla 10 se muestra la clasificación de los riesgos que se hizo después de elaborar la tabla de matriz riesgo.

Tabla 10: Interpretación del Riesgo

Clasificación.	Intervalo.	Criticidad.
D	11,21,22.	Riesgo bajo.
C	31,33,42.	Riesgo medio.
B	44,47,62,63,84,93.	Riesgo medio-alto.
A	94,124,141,188.	Riesgo alto.

Fuente: Barros y otros 2014:207

Con la tabla anterior se pudo identificar cuáles son los modos de falla que poseen el mayor número de incidencias en la seguridad de la planta. Estos son los que tendrán un especial cuidado para la asignación de tareas para obtener un control confiable de riesgo.

J. Determinación de las tareas proactivas

Gracias al diagrama de RCM II y el concepto de costo de efectividad, se evaluaron las consecuencias de una falla funcional para ambas secciones. De este análisis se pudo obtener las Consecuencias de fallo oculto (H), consecuencias para la seguridad y el medio ambiente (S), consecuencias operacionales (O), por ultimo las consecuencias no operacionales (N). De este análisis se plantearon 61 tareas para la sección de crisol de Metalurgia y 39 propuestas para la sección de Lingotera de Metalurgia. Ver Tabla 11

Tabla 11: Hoja de decisión RCM de sección rejilladora

HOJA DE DECISIÓN RCM SECCIÓN REJILLADORA.																			
Facilitador:				Sistema/Activo: SECCIÓN DE METALURGIA								Sub-sistema/Componente : CRISOL DE METALURGIA				Tarea propuesta Sección de Metalurgia.			
Nombre de la planta.				Colaborador:															
Caracterización y Jerarquización del Riesgo.								Evaluación de Consecuencias				Tareas "A falta de"							
F	FF	M	F	C	Criti	Riesg	H	S	E	O	H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	H4	H5	S4			
3	A	1	1	11	11	D											No hay tareas que eviten este modo de falla que depende directamente de la calidad del producto. Se procede a aumentar de temperatura.	En operación.	Operador
		2	1	11	11	D	N				N	N	N	S			1. Inspección visual de componentes y ajustes de los mismos.	Mensual	1 Téc. Eléctrico, ó 1 Téc. Mecánico.
		3	1	11	11	D	N				N	N	N	S			1. Inspección visual en piñonería para verificación de desgaste. 2. aplicación de tinta penetrante para busca de posibles grietas.	Trimestral.	1 Téc. Mecánico.
		4	1	11	11	D	N				N	N	N	S			1. Reacondicionamiento de aceite o grasa de lubricación.	Mensual	1 Téc. Mecánico.
	B	1	1	31	31	C	N				S						1. Tomar registro de espesor de la lámina de las paredes del crisol mediante ultrasonido.	Trimestral.	Sub-contratado.
	C	1	1	11	11	D	S	S			S						1. Inspección visual de la llama.	Inicio del proceso	1. Supervisor de producción.
		2	1	11	11	D	N				N	N	N	S			1. Limpiar externa e internamente el controlador de encendido (Según grado de protección IP) cuidadosamente de todo polvo o suciedad que allí se encuentre. 2. Revisar conexiones y empalmes eléctricos que no hayan sujeciones falsas o rotas.	Cada vez que haya parada del equipo.	1 Téc. Eléctrico.
		3	1	31	31	C	N				S						1. Tomar registro de los voltajes y corrientes de línea y fase para la conexión correspondiente del motor (Estrella o Triángulo).	Quincenal	1 Téc. Eléctrico, ó 1 Téc. Mecánico.

Fuente: Barros y otros 2014:206

En la tabla anterior muestra el plan de mantenimiento de la sección Rejilladora, basada en la aplicación del concepto de RCM II.

K. Determinación de posibles tareas de rediseño

Después de ejecutar la secuencia de pasos realizados anteriormente, la metodología del RCM recomienda un rediseño en la configuración y soporte de los equipos Bomba agitador con referencia al Crisol de Metalurgia.

En la tabla 12 se muestra el análisis de los modos de falla, a su vez los efectos de falla y en consecuencia su grado de criticidad.

Tabla 12: Modos de falla más importantes de la planta de producción de lingotes de acuerdo a su grado de criticidad.

Sección	Modos de falla	Efectos de falla	f	C	Valor	Criticidad
Crisol	Paredes del crisol con grietas debido a los impactos o choques de los lingotes al caer sobre la base.	Las láminas del crisol sobre todo de la base al comienzo del llenado, terminan rompiéndose por fatiga debido a que tienen que absorber los golpes de los lingotes. La fuga inunda el espacio dónde está ubicado el quemador. Parada proceso inmediato. Tiempo de reparación 1 día.	1	47	47	B
Crisol	Paredes del crisol con grietas debido a la acción térmica al recibir el calor del quemador.	La expansión y contracción de las láminas de acero debido al calentamiento y enfriamiento, pese a que no es brusco genera concentración de esfuerzos que termina por agrietar la lámina. Por otro lado, la acción siempre directa de la llama tiende a disminuir el espesor de lámina por el efecto fotoeléctrico. La fuga inunda el espacio donde está ubicado el quemador. Parada proceso inmediato. Tiempo de reparación 1 día.	1	47	47	B
Crisol	Las tuberías o dispositivos que conforman la alimentación de gas poseen fuga.	Se percibe un olor a gas en el ambiente de trabajo, la operación transcurre normalmente. Se corre el riesgo de un accidente por incendio. Tiempo de reparación 2 días.	1	47	47	B
Crisol	El blower del crisol extrae los vapores de fundición y preparación de plomos con una composición química que está fuera de especificación.	El proceso se realiza normalmente, no hay ruidos o golpes extraños.	1	47	47	B
Crisol	El ducto que comunica directo el crisol con los techos de la bodega extrae los gases de la fundición y preparación de plomos con una composición química que está fuera de especificación.	El proceso se realiza normalmente, no hay ruidos o golpes extraños.	1	47	47	B
Crisol	La estructura (Plataforma o soportes) están agrietados o doblados por fatiga.	Las uniones pueden cumplir su función, de seguir operando podrían desprenderse las vigas u otros elementos cayendo sobre el área laboral. Tiempo de reparación 3 horas.	1	47	47	B
Lingotera	Sistema de refrigeración tiene varias boquillas tapadas u obstruidas.	El lingote en operación no termina de solidificarse y por ende llega aún líquido al final de proceso ocasionando derrames y salpicaduras peligrosas, por eso se debe disminuir la velocidad de producción, lo que ocasiona baja productividad. La operación de bombeo transcurre normalmente, la presión de bombeo en la carcasa aumenta por encima de 60 PSI. Con el tiempo las boquillas tienden a irse cerrando completamente. Tiempo de reparación 7 horas.	3	31	91	B
Lingotera	El blower extrae los vapores de la refrigeración pero con un fluido cuya composición está fuera de especificación.	El proceso se realiza normalmente, no hay ruidos o golpes extraños.	1	47	47	B
Lingotera	La estructura (Plataforma o soportes) están agrietados o doblados por fatiga.	El sistema de extracción puede operar normalmente, de seguir operando podrían desprenderse los ductos de extracción o estructuras de soporte de la máquina cayendo sobre el área laboral. Tiempo de reparación 3 horas.	1	47	47	B

Fuente: Barros y otros 2014:204

De la figura anterior se puede apreciar los modos de fallos más importantes en función a su grado de criticidad.

Resultados

A continuación se exponen los resultados de la implantación de RCM II en la empresa

“Mediante la implementación del RCM II se logró establecer un programa de mantenimiento constituido por tareas proactivas (Predictivas, Preventivas, tareas de chequeo) propuestas para cada uno de los modos de falla definidos anteriormente, una identificación de los componentes por equipo más detallada, unas consideraciones para la seguridad y operación de la máquina que no estaban previstas anteriormente, mayor vida útil de los activos físicos costosos, y un rediseño en un activo físico (Agitador y Bomba crisol) con lo que se espera incrementar la vida útil aún más que la que se obtiene con la configuración actual. Se logró una participación del equipo de trabajo RCM II, los cuales aprendieron mucho más de cómo funciona el activo físico, forma correcta de operarlos, la mejor manera de disminuir los accidentes o fallas, cada miembro del grupo intervino en la formulación de los objetivos, en decidir que se debe hacer y quién lo debe hacer,

esto conlleva a un mayor sentido de pertenencia. La implementación del RCM II en la sección de Metalurgia logró incrementar la confiabilidad de la sección mediante el análisis del Tiempo medio entre fallas (MTBF). (2014:207)

De la cita anterior, se puede concluir que mediante la implementación del RCM II, se tuvo éxito en elevar la vida útil de los activos, mediante la intervención activa de los involucrados del equipo de trabajo del RCM II, y a su vez se rediseño del agitador y bomba crisol que se espera conlleve a incrementar más aun la vida útil de estos equipos.

Por otro lado, se logró incrementar la confiabilidad del crisol, esto se evidencio mediante el indicador de Tiempo medio entre fallas (MTBF⁸⁶).ver tabla 13

Tabla 13: Reducción de tiempo medio entre fallas después del RCM

Equipo afectado	MTBF (días/No.fallas) antes	MTBF (días/No.fallas) después	Mejora de RCM II (%)
Agitador	53.3	77	44.5
Ventilador	40.5	62	53.1
Crisol			
Bomba	125	146	16.8
Crisol			
Termopozo	10	14.4	44
Crisol			

Fuente: Barros y otros 2014:207

Caso 3: Aplicación de TPM en una planta de generación de energía termoeléctrica.

En las siguientes páginas, según los autores Milton Fonseca y otros, se detallaran como se tuvo éxito la implantación del TPM en una planta de generación de energía térmica.

Problemática

En esta planta de generación de energía térmica se tenía una elevada incidencia de mantenimiento correctivo de la unidad generadora, específicamente de un motor de Electrobras Amazonas Energía, es por ello que se realizaron análisis de temperatura de aceites, contenido de agua en los aceite y contenido de metales en el aceite lubricante.

Ejecución

Para la realización de este proyecto se crearon etapas que a continuación se mencionan.

Etapas 1- Diagnostico: Para esta labor se tuvo la ayuda de un consultor, quien fue que analizo los datos las áreas productivas, los datos recopilados fueron los siguientes: operación, entrevistas, análisis de documentos. Después de haber realizado esta labor, se presentó a la

⁸⁶ MTBF son las siglas de las palabras en inglés Mean Time Between Failure que se traduce al español como Tiempo Medio de Vida entre Fallos

Directora y la Administración de empresas los datos recogidos y con ello expulsos sus recomendaciones.

Fase 2- Plan Maestro Estratégico: En este apartado se contempló las oportunidades y objetivos específicos que se definieron con los directivos y la gerencia de la empresa para las áreas en las que se ejecutó en programa.

Fase 3 – Formación: Fue necesario para la formación de conocimientos de los participantes, quienes fueron los responsables de la elaboración del programa interno, coordinadores, líderes y miembros del comité de servicio.

Fase 4 – Seguimiento: Esta actividad fue realizada por el consultor conjuntamente con el Coordinador General del programa, que incluían reuniones, auditorias durante las etapas de orientación y aplicación del Plan Maestro Estratégico aprobado.

Después de la ejecución de estas etapas se puso en marcha la implementación de los siguientes pilares del TPM

1. **Pilar de Educación y Formación:** Los empleados se sienten identificados para recibir la formación básica del TPM, que se llevó a cabo con fechas definidas e instructores capacitados.
2. **Pilar de mejoras específicas:** Se formaron grupos de trabajo que tuvieron los conocimientos para identificar las prioridades y los principales riesgos de operación de los equipos.
3. **Pilar de mantenimiento autónomo:** Se determinó la manera como ejecutar ciertas labores de rutina, como por ejemplo: limpieza inicial, establecimiento de como colocar las etiquetas, etc.
4. **Pilar de mantenimiento Programado:** Se establecieron hojas de trabajo con el contenido de todas las preguntas pertinentes sobre las siguientes puntos de control: Operación, Mantenimiento, Ingeniería y Medio Ambiente. Por otro lado, el equipo de mantenimiento lleva a cabo las inspecciones planificadas de operación, que son catalogadas y recomendadas por el fabricante.

Resultado

En el siguiente citado, escrito por Milton Fonseca y otros se detalla el éxito de la implantación de TPM en una planta de generación de energía termoeléctrica.

“Con base en la información del estudio de caso de Eletrobras Amazonas Energía, fue posible identificar las posibles causas de parada de los equipos. Se dio solución a un problema real de la empresa, lo que reporto ganancias. Una vez detectado los problemas el área de

mantenimiento de la empresa propuso la aplicación, primero, de un programa de mantenimiento predictivo; y en una segunda etapa, la aplicación de un programa de mantenimiento productivo total. Después de las implementaciones de los programas, se ha demostrado, a través de la mejora de los indicadores de mantenimiento, la solución de un problema en una situación real con la continua disminución de mantenimiento correctivo en un año en la empresa Eletrobras Amazonas Energía.”(2015:148)

Como se menciona en el citado anterior, gracias a la implantación del TPM se hizo posible la disminución de paradas de mantenimiento correctivo, esto se hizo visible gracias a los indicadores de mantenimiento que se tiene en la empresa.

Por otro lado, cabe resaltar que la empresa gasto menos U\$ 7,854.095, 91 anualmente en la puesta en marcha de este proyecto. También, es necesario mencionar que el proyecto no afecto la productividad, fiabilidad del sistema eléctrico de Manaus, medio ambiente, y seguridad de las instalaciones para la resolución de los problemas de mantenimiento correctivo.⁸⁷

En la siguiente gráfico 1 se muestra la situación antes de la implementación del TPM

Fuente: Fonseca y otros 2015:147

De la gráfica anterior se deduce que en el año 2013 hubo 100 intervenciones de mantenimiento correctivo, asimismo 50 autónomos, seguido de 50 preventivos, y por ultimo 5 de predictivos. Esto muestra que la incidencia de intervenciones se dio por mantenimiento correctivo, lo que representa una pérdida para la organización.

A continuación se muestra el resultado de la implantación del TPM. Ver gráfico 2

⁸⁷ Cfr. Fonseca y otros 2015:148

Gráfico 2: Situación después de la implantación del TPM en el 2014

Fuente: Fonseca y otros 2015:147

Del gráfico anterior se puede visualizar la disminución de intervenciones de mantenimiento correctivo, en otras palabras se redujo de 100 a 50 en número de incidencias. Asimismo, se visualiza el aumento de intervenciones de tipos de mantenimientos autónomos, preventivos y predictivos.

Conclusiones del capítulo 1

- En este capítulo se ha recopilado la información vital que ayudara a desarrollar la metodología de forma ordenada y secuencial.
- La metodología RCM mediante sus distintos pasos ayudan a identificar los sistemas subsistemas, elementos y componentes, para que sean evaluados de acuerdo a su criticidad.
- Los casos de éxito proveen una base para la implementación de la metodología, ya que en estos está especificado la forma de aplicación.

CAPÍTULO 2: ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA

En los últimos años la empresa ha tenido una gran cantidad de horas improductivas en los sistemas de producción. Estas horas se deben principalmente al enorme aumento en número y variedad de fallas de las máquinas. Para ello, en este capítulo se analizará la data histórica mediante diferentes herramientas que ayudaran a determinar las causa(s) raíz que están generando la baja disponibilidad de las máquinas.

Descripción de la empresa

Maderera Bozovich S.A.C. se encuentra ubicada en el distrito de Lurín. Grupo empresarial dedicada con más de 60 años de experiencia en la extracción, transformación y distribución de productos de maderas finas alrededor del mundo.

Cuenta con empresas propias ubicadas en Perú, México, EEUU y Bolivia; y con oficinas de representación para la compra y venta de productos en China y Taiwán; y para la distribución en Puerto Rico y República Dominicana. Estas conforman, hoy, un sólido sistema de abastecimiento y una amplia red de distribución, desde el cual atiende a distintos mercados internacionales como: Norte América, Asia Pacífico, el Caribe, Europa, entre otros.

Desde sus inicios se ha caracterizado por mantener altos niveles de calidad en sus productos y servicios. Por ello, han generado relaciones a largo plazo con sus clientes y proveedores, convirtiéndose en una de las principales organizaciones comercializadoras de productos de madera en el mundo.

Visión: Llevar al mundo productos de madera fina de alta calidad, de manera eficiente y responsable que redunde en beneficio de nuestros clientes, proveedores y colaboradores.

Misión: Ser el principal facilitador del mundo en soluciones para productos de madera fina, promoviendo el manejo sostenible de los bosques.

A continuación, en la figura 15 se muestra el organigrama de la empresa

Figura 15: Organigrama general de la empresa

Elaboración propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C

Ventas

En el gráfico 3 se muestran las ventas de los últimos 6 meses del año 2016, aquí también se puede apreciar que la meta mensual de la empresa es facturar \$ 2, 500,000.00. Esta meta no es cumplida debido a varios factores que impiden lograr dicho objetivo, en este trabajo de investigación se va a determinar la problemática y el problema principal que impide lograr esta meta.

Gráfico 3: Ventas de los últimos 6 meses del año 2016

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C

En el grafico se puede apreciar que en el mes de Septiembre las ventas fueron de \$ 2, 305,014, esto debido a que la disponibilidad de máquinas fue mayor que en los otros meses del año.

Ventas de principales productos

Gráfico 4: Ventas de productos de los últimos 6 meses

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C

En el grafico 4, se puede visualizar que el producto que más se vende es el Piso, es por ello que nuestro trabajo de investigación se va enfocar en este producto. Asimismo en la tabla 14 también se aprecia esta tendencia.

Tabla 14: Ventas de productos de los últimos 6 meses

Mes	Tablas	Pisos	Decking	Tablillas	Triplay y Otros	Servicios	Total	Objetivo
Sep - 16	550,050	700,500	602,561	439,020	0	0	2,292,131	2,500,000
Oct - 16	472,050	650,550	248,452	346,070	0	0	1,717,122	2,500,000
Nov - 16	184,605	359,273	468,177	580,284	0	0	1,592,339	2,500,000
Dic - 16	226,538	450,000	468,022	382,766	2,630	0	1,529,957	2,500,000
Ene - 17	500,000	800,000	699,614	433,610	0	0	2,433,224	2,500,000
Feb - 17	200,000	430,500	41,250	120,000	0	0	791,750	2,500,000
Mar - 17	350,000	256,550	250,000	256,000	0	0	1,112,550	2,500,000
Abr - 17	0	0	0	0	0	0	0	2,500,000
May - 17	0	0	0	0	0	0	0	2,500,000
Total	2,483,243	3,647,373	2,778,076	2,557,750	2,630	0	11,469,073	22,500,000

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C

El Pareto del gráfico 5 muestra que el 80% de los productos lo componen Pisos, Decking y Tablillas. Para el proyecto de investigación se analiza los pisos machihembrados, ya que estos son los impactan más en las ventas.

Gráfico 5: Principales productos vendidos en los últimos 6 meses del año 2016

Elaboración propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C

Asimismo, en la tabla 15 se muestra el porcentaje de importancia de los principales productos vendidos en el año 2016

Tabla 15: Importancia de los principales productos

N°	Productos	Secuencia	Ventas en "miles USD"	Porcentaje de importancia
1	Pisos	A,B,C,I,J,K,L	3,647,373.00	31.8%
2	Decking	B,C,G,M,N	2,778,076.00	24.2%
3	Tablillas	D,E,F,H	2,557,750.00	22.3%
4	Tablas	B,C,I,J	2,483,243.00	21.7%
			11,466,442.00	100.0%

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C

Elaboración propia 2017

En la tabla 16 se muestra las máquinas que intervienen en el proceso de fabricación de Pisos, Decking, Tablillas y Tablas, estas están distribución en 31.8%, 24.2%, 22.3%, 21.7% respectivamente.

Por otro lado, también se puede visualizar el porcentaje de utilización de las máquinas de los principales productos vendidos, siendo los siguientes porcentajes: Multilamina 1 con 77.77 %, Cepilladora 1 con 100 %, Optimizadora con 75.8 % y finalmente Moldurera 1 con 53.5 %.

Tabla 16: Diagrama multiproductos

Máquina		Pisos	Decking	Tablillas	Tablas	Porcentaje de utilización
A	Medidor de Humedad	1				32%
B	Multilamina 1	2	1		1	77.7%
C	Cepilladora 1	3	2	1	2	100.0%
D	Multilamina 2			2		22.3%
E	Cepilladora 2					22.3%
F	Despuntadora 2			3		22.3%
G	Despuntadora 3		3			24.2%
H	Despuntadora 9					22.3%
I	Optimizadora	4		4	3	75.8%
J	Moldurera 1	5			4	53.5%
K	Despuntadora 5	6				31.8%
L	Retestadora 1	7				31.8%
M	Moldurera 2		4			24.2%
N	Despuntadora 4		5			24.2%
Porcentaje de importancia		31.8%	24.2%	22.3%	21.7%	100.0%

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C

Elaboración propia 2017

Principales productos

Los productos que la empresa fabrica son de acuerdo a los requerimientos y características establecidas por el cliente, estos productos van desde los diseños más simples hasta los más complejos.

Principales productos

A continuación, en las figuras 16 se muestran los productos que la empresa fabrica de acuerdo a los requerimientos y características establecidas por el cliente, estos productos van desde los diseños más simples hasta los más complejos.

Figura 16: Principales productos

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C

Figura 17: Solidos sin barnizar

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Figura 18: Triplay

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Figura 19: MDF

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Figura 20: Solidos sin barnizar

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Figura 21: Solidos barnizados

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Figura 22: Tablillas

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Figura 23: Parquet

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Figura 24: Estructurados

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Procesos generales de la empresa

Mapa de procesos de la empresa Maderera Bozovich S.A.C.

A continuación, se presenta la interacción de los procesos de la empresa, el cual incluye los procesos operativos, de soporte y estratégicos.

Figura 25: Interacción de procesos

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C

Elaboración propia 2017

En la figura 26 se presenta el mapa de procesos con sus respectivos niveles; nuestro trabajo de investigación está enfocado en los procesos operativos y que a su vez están relacionados con mantenimiento.

Figura 26: Mapa de procesos
PROCESOS ESTRATÉGICOS

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C
Elaboración propia 2017

Asimismo, en la figura se puede apreciar las cuatro áreas de color agua marina donde se va a analizar el análisis de la problemática. En el punto 2.2.1 se va a detallar los procesos productivos de las cuatro áreas (Transformación Secundaria, Secado, Transformación Avanzada y Línea de Barnizado).

En la tabla 17 se muestra el SIPOC del área de mantenimiento, en este se puede apreciar a los proveedores de los repuestos e insumos necesarios para la reparación de las máquinas. La ejecución de las tareas del proceso de mantenimiento está en función de las entradas, esto permite que las salidas sean satisfactorias y aprobadas por el cliente que en este caso es el Jefe de producción.

Tabla 17: SIPOC de mantenimiento

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado de Jiménez, Heriberto y Amaya, Carmenza 2014: 267

Descripción de los procesos de la empresa

1. Procesos estratégicos

- **Direccionamiento estratégico:** En esta área se formulan las estrategias de manera sistemática, lógica y racional para el mediano y largo plazo, así también, los objetivos, metas y actividades de corto plazo.
- **Gestión de la calidad:** Se ocupa de asegurar el cumplimiento de las políticas de la compañía. En otras palabras, verifica que los objetivos planteados se cumplan dentro de los plazos previstos.

2. Procesos operativos

- **Extracción:** Esta área se ocupa extraer la materia desde los bosques concesionados por el Estado Peruano.
- **Recepción:** Se realiza la recepción de los camiones de madera que llegan desde la selva peruana. Aquí se verifican las toneladas, dimensiones y especie de madera.
- **Secado:** En esta área la madera que se ha cortado y está fresca pasa por el horno de madera para secar y quitar el alto grado de humedad.
- **Transformación primaria:** Aquí se procesa la madera que recién ha salido del horno de secado. La actividad principal de esta área es la de cortar los tablones de madera en dimensiones más pequeñas para el correcto maquinado en el proceso siguiente.
- **Transformación Avanzada:** En esta área con herramientas especiales y las moldureras de precisión son chequeados técnicamente los machihembrados para su total garantía.

- **Transformación Secundaria:** Aquí la madera es garlopeada cara y canto a efectos de enderezarla a todo lo largo, formando escuadra de 90 grados ambas superficies.
- **Línea Barnizado:** Se barniza la madera para preservar y proteger el producto final
- **Empaquetado y Despacho:** Aquí la madera debe clasificarse según sus dimensiones y su calidad. Finalmente, se empaqueta para su distribución.

3. Procesos de soporte

- **Mantenimiento:** Esta área se encarga de proporcionar en forma oportuna y eficiente las soluciones preventivas y correctivas de las maquinarias y equipos de la planta.
- **Administración:** Esta área tiene por función la planificación, la coordinación y el control de la empresa.
- **Contabilidad y Finanzas:** Se encarga de la administración y control de los recursos financieros que se emplean en la empresa. Asimismo, controlar y analizar los registros contables que se requieren en la empresa, de acuerdo al marco legal, contable y procedimientos internos de la empresa.

Detalle de áreas productivas

A continuación, se detallan los procesos productivos para la fabricación de pisos machihembrados. Estas áreas son las siguientes: Transformación Secundaria, Secado, Transformación Avanzada y Línea de Barnizado.

1. Área de Transformación Secundaria:

Esta área está compuesta por el aserrado y despuntado.

- **Aserrado**

En este proceso se realiza el pre corte de la madera con una sierra de cinta, que es un elemento activo cortante, por arranque de viruta. Los cortes tienen un excedente en cada una de sus lados y estos son eliminados en los procesos posteriores. Antes de ejecutar el proceso, se verifica que la maquina este ajustada y calibradas para el tipo de corte que va a realizar. Una vez que se ha hecho este tipo de ajustes se procede con el corte. Posteriormente las maderas son apiladas en parihuelas para que luego pasen al siguiente proceso. En las siguientes imágenes se muestra la máquina que se utiliza en este proceso.

Figura 27: Proceso de aserrado de madera

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

En la figura 27 se puede apreciar a un operario realizando el corte de la madera con la máquina aserradora. Este trabajador debe tener como mínimo un año de experiencia en el manejo de esta máquina para evitar accidentes, además debe hacer buen uso de los equipos de protección personal.

En el diagrama de procesos, la figura 28 se detalla los procesos mediante una secuencia lógica, este diagrama sirve como un mapa para identificar las etapas del proceso.

Figura 28: Diagrama de procesos área Transformación Secundaria

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado de Escalante, Amparo y Domingo, José 2015: 87

Tabla 18: Hoja de proceso de T.S

HOJA DE PROCESO DE MAQUINADO INICIAL DE PISO MACHIHEMBRADO (T. S)		
OBJETO: Detallar el procedimiento inicial de la fabricación de pisos de Machihembrado	ALCANCE: Aplica a todos los integrantes del área de Transformación Secundaria	RESPONSABLE
<p>DIAGRAMA DE FLUJO</p> <pre> graph TD A([Bloques de madera]) --> B[1. Inspeccionar materia prima] B -.-> C[Hoja de programación] B --> D[2. Aserrado] D --> E[3. Inspeccionar] E -.-> F[Muestra] E --> G{¿Corte adecuado?} G -- NO --> D G -- SI --> H[4. Apilado] H --> I([Madera semiterminada]) </pre>	1. En este proceso el personal de control de calidad inspecciona que la materia (madera), que viene de los bosques de provincia, este dentro de los parámetros ya establecidos de corte, es decir; volumen, especie madera, consistencia. Asimismo, se cogen muestras del producto para un análisis de laboratorio.	Control de calidad
	2. En este proceso se realiza el pre corte de la madera con una sierra de cinta, que es un elemento activo cortante, por arranque de viruta.	Operador de Reaserradora
	3. En esta etapa se verifican que los cortes de madera sean los adecuados para pasar al siguiente proceso. Asimismo, se cogen muestras del producto para un análisis de laboratorio.	Control de calidad
	4. En este proceso se apilan los bloques de madera, de dimensiones pequeñas, en tacos de madera para que puedan ser trasladados al siguiente proceso proceso productivo que es el área de Estibado y Desestibado.	Auxiliares de aserrado
EMITE: Responsable del proceso	REVISAR:	APRUEBA:

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado Fonseca Milton y otros 2015: 144

2. Área de hornos

Las parihuelas ingresan al horno de secado para quitarles la humedad de forma artificial, el tiempo que permanecen dentro de la cámara de secado depende de la especie de la madera, grado de humedad, tensión, velocidad y variación del aire, y otros factores de secado. Este proceso se realiza con la finalidad de obtener la humedad requerida, acelerar el proceso de secado, evitar deformaciones, grietas, entre otros.

El aire es calentado mediante unos intercambiadores de calor (serpentines aceite caliente), y obligado a circular, por medio de unos ventiladores, entre las pilas de madera para absorber la humedad de esta. El aire que se encuentra saturado de agua es extraído del horno, con la finalidad de inyectar aire fresco y continuar con el proceso de secado.

Después que las maderas han sido expuestas a la temperatura y el tiempo establecido, son retirados del horno para que pasen al siguiente proceso.

Figura 29: Proceso de secado de madera al horno

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

En la figura 29 se aprecia los trenes (tren se le dice a las rumas de madera que se aprecian en la figura 29, estas rumas están sobre una base que se desliza por medio de unas rieles parecidas a un tren) que están ingresando a los hornos de secado.

En la figura 30 se aprecia el diagrama de procesos del área de hornos

Figura 30: Diagrama de procesos para la fabricación de pisos en área hornos

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado de Escalante, Amparo y Domingo, José 2015: 87

Tabla 19: Hoja de proceso de Hornos

HOJA DE PROCESO DE SECADO DE PISO MACHIHEMBRADO (HORNO)		
OBJETO: Detallar el procedimiento de secado para la fabricación de pisos de Machihembrado	ALCANCE: Aplica a todos los integrantes del área de Hornos	RESPONSABLE
<p>DIAGRAMA DE FLUJO</p> <pre> graph TD A([Madera semiterminada]) --> B[1. Medicion de humedad] B -.-> C[Muestra] B --> D[2. Secar madera] D --> E[3. Inspeccionar humedad] E -.-> F[Muestra] E --> G{¿Madera seca?} G -- NO --> D G -- SI --> H([Madera semiterminada seca]) </pre>	1. En este proceso el operador de hornos y calderos mide el grado inicial de humedad de la madera, además se verifica el volumen, especie madera, consistencia. Asimismo, se cogen muestras del producto para un análisis de laboratorio.	Operador de hornos y calderos
	2. Las maderas semiterminadas ingresan al horno de secado para quitarles la humedad de forma artificial, el tiempo que permanecen dentro de la cámara de secado depende de la especie de la madera, grado de humedad, tensión, velocidad y variación del aire, y otros factores de secado.	Operador de hornos y calderos
	3. El operador de hornos y calderos inspecciona el grado final de humedad de la madera, según el volumen, especie madera, consistencia. Asimismo, se cogen muestras del producto para un análisis de laboratorio.	Operador de hornos y calderos
EMITE: Responsable del proceso	REVIS:	APRUEBA:

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado Fonseca Milton y otros 2015: 144

3. Área de transformación avanzada (TA)

• Canteado lateral

En esta máquina, mediante sierras circulares, se rectifica las deformaciones laterales que puede haber tenido la madera, también en este proceso se realiza un pre-maquinado del producto final. Ver figura 31

Figura 31: Proceso de canteado de la madera

Fuente: Maderera Bozovich

- **Cepillado**

Esta máquina tiene la finalidad de maquinar la superficie superior e inferior de la madera mediante la operación mecánica, con la finalidad de que este quede listo y sin torcedura. Para la realización de esta operación utiliza cabezales porta cuchillas que son las que desprenden viruta de la superficie. Despendiendo del tipo de producto esta máquina realiza el pre maquinado del producto final. Ver figura 32

Figura 32: Proceso de cepillado superior e inferior de la madera

Fuente: Maderera Bozovich

- **Optimizado**

Este proceso consiste en el corte de los extremos de la madera, también conocido como tronzado automático, el corte se realiza mediante una sierra circular. Esta actividad se realiza mediante un software que interactúa con los sistemas mecánicos, neumáticos, eléctricos y electrónicos. La cantidad, y el tamaño de la madera dependen del programa de producción, ya que en este especifican las medidas. El objetivo es realizar el mejor corte en función al rendimiento de la materia prima, precio, piezas libres de defectos, deformaciones, y adecuación de la longitud para el siguiente proceso. Ver figura 33

Figura 33: Proceso de optimizado de la madera

Fuente: Maderera Bozovich

- **Moldurado**

En este proceso se realizado utilizado una maquina moldurera de alta velocidad y precisión de corte. El maquinado se ejecuta mediante el uso de herramientas especiales de corte rotativo, cabezales con injertos de cuchillas de carburo de tungsteno, calibradas y balanceadas, con la finalidad de obtener los perfiles deseados, y después pasar al siguiente proceso. En este caso nuestro objeto de estudio es el piso machihembrado. Ver figura 34

Figura 34: Proceso de moldurado de la madera

Fuente: Maderera Bozovich

Figura 35: Diagrama de procesos área Transformación Avanzada

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado de Escalante, Amparo y Domingo, José 2015: 87

Tabla 20: Hoja de proceso de TA

HOJA DE PROCESO DE MAQUINADO FINAL DE PISO MACHIHEMBRADO (T. A)		
OBJETO: Detallar el procedimiento de maquinado final de piso Machihembrado	ALCANCE: Aplica a todos los integrantes del área de Transformación Avanzada.	RESPONSABLE
<p>DIAGRAMA DE FLUJO</p> <pre> graph TD Start([Madera semiterminada]) --> 1[1. Inspeccion de humedad] 1 --- Muestra1[Muestra] 1 --> D1{¿Humedad adecuada?} D1 -- NO --> 2((2. Re-secado)) D1 -- SI --> 3[3. Canteado] 3 --> 4[4. Inspeccion de material revirado] 4 --> D2{¿Madera revirada?} D2 -- NO --> 5[5. Trozado para recuperacion] D2 -- SI --> 6[6. Cepillado] 5 --> 6 6 --> 7[7. Optimizado] 7 --> 8[8. Selecccion de calidad de producto] 8 --> D3{¿Material adecuado para piso?} D3 -- NO --> 9((9. Otros)) D3 -- SI --> 10[10. Moldurado] 10 --> 11[11. Retestado] 11 --> 12[12. Inspeccion tolerancias y perfil] 12 --- Muestra2[Muestra] 12 --> End([Piso Machihembrado solido sin barnizar]) </pre>	<p>1. En este proceso el personal de control y calidad inspecciona la humedad de la madera.</p> <p>2. La madera que no se encuentra de los parametros de humedad regresan al area de secado.</p> <p>3. En esta estación de trabajo, mediante sierras circulares, se rectifica las deformaciones laterales que puede haber tenido la madera, también en este proceso se realiza un pre-maquinado del producto final.</p> <p>4. En este proceso el personal de control y calidad inspecciona las piezas reviradas.</p> <p>5. Aquí se trozan la madera en piezas mas cortas para que puedan ingresar otra vez a la linea de produccion.</p> <p>6. Aquí se maquina la superficie superior e inferior de la madera, con la finalidad de que este quede listo y sin torcedura. Para la realización de esta operación utiliza cabezales porta cuchillas que son las que desprenden viruta de la superficie.</p> <p>7. Este proceso consiste en el corte de los extremos de la madera, también conocido como tronzado automático, el corte se realiza mediante una sierra circular. La cantidad, y el tamaño de la madera dependen del programa de producción.</p> <p>8. En este proceso el personal de clasificado selecciona si la madera es adecuada para el maquinado de piso</p> <p>9. Las piezas que no son adecuadas para la fabricacion de pisos son derivados a otros productos.</p> <p>10. Este proceso se realiza utilizando una maquina moldurera de alta velocidad y precisión de corte. El maquinado se ejecuta mediante el uso de herramientas especiales de corte rotativo, cabezales con injertos de cuchillas de carburo de tungsteno, calibradas y balanceadas, con la finalidad de obtener los perfiles deseados.</p> <p>11. Este proceso se realiza utilizando una maquina retestadora de alta velocidad y precisión de corte, que perfila los exremos del piso.</p> <p>12. En este proceso el personal de control y calidad inspecciona que el producto este dentro de las tolerancias ya establecidas, además que el perfil la madera sea el adecuado.</p>	<p>Control de calidad</p> <p>Operador de Hornos</p> <p>Operador de Canteadora</p> <p>Control de calidad</p> <p>Operador de Despuntadora</p> <p>Operador de Cepilladora</p> <p>Operador de Optimizadora</p> <p>Clasificador de Optimizadora</p> <p>Clasificador de sub-productos</p> <p>Operador de Moldurera</p> <p>Operador de Retestadora</p> <p>Control de calidad</p>
EMITE: Responsable del proceso	REVIS:	APRUEBA:

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado Fonseca Milton y otros 2015: 144

4. Área de barnizado

El proceso de barnizado empieza con la inspección de los pisos Semi-terminados, posteriormente pasan por una máquina que los lija para uniformizar la superficie de la madera. Después del lijado se le aplica la primera capa de barniz por medio de una máquina diseñada para este tipo de trabajo. En la tapa siguiente se lija la madera para uniformizar la capa de barniz, subsecuente mente se le aplica otra capa de barniz y es lijada por otra máquina. Este proceso se repite hasta que el piso machihembrado queda terminado para su clasificación y empaque.

Los pisos pasan de una máquina a otra por medio de una faja transportadora debidamente calibrada.

Figura 36: Diagrama de procesos área barnizado
DIAGRAMA DE OPERACIONES DEL PROCESO PARA LA FABRICACIÓN DE PISOS MACHIHEMBRADOS
ÁREA DE BARNIZADO

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado de Escalante, Amparo y Domingo, José 2015: 87

En el diagrama de la figura 36 se aprecia la secuencia del acabado del piso machihembrado, el proceso inicia con la inspección de la madera, se separan los defectuosos y solo pasan los que cumplen con las especificaciones técnicas. Los pisos que cumplen con esta condición se le aplican las diferentes capas de barniz.

En este diagrama se puede determinar que las inspecciones que se le realiza a los distintos tipos de barniz son los que permiten que los pisos machihembrados tengan el brillo y color establecido por el cliente.

Tabla 21: Hoja de proceso de Barnizado

HOJA DE PROCESO DE BARNIZADO DE PISO MACHIHEMBRADO		
OBJETO: Detallar el procedimiento de barnizado de piso Machihembrado	ALCANCE: Aplica a todos los integrantes del área de Línea de Barniz	RESPONSABLE
<p>DIAGRAMA DE FLUJO</p> <pre> graph TD Start([Piso Machihembrado solido sin barnizar]) --> Step1[1. Inspeccion defectuosos] Step1 -.-> Muestra1[Muestra] Step1 --> Decision1{¿Madera revirada?} Decision1 -- SI --> Step2[2. Trozado para retestado] Step2 --> Step3[3. Retestado] Decision1 -- NO --> Step5[5. Lijar residuos] Step3 --> Step5 Step5 --> Step4((4. Re-lijado)) Step4 --> Step6[6. Aplicar primera capa de barniz] Step6 --> Step7[7. Secado ultravioleta] Step7 --> Step8[8. Aplicar diferentes tipos de barniz] Step8 --> Step9[9. Secado ultravioleta] Step9 --> Step10[10. Inspeccion brillo] Step10 -.-> Muestra2[Muestra] Step10 --> Decision2{¿Brillo adecuado?} Decision2 -- NO --> Step4 Decision2 -- SI --> End([Piso Machihembrado solido barnizado]) </pre>	<p>1. En este proceso el personal de control y calidad inspecciona que la superficie del producto sea uniforme, libre de agujeros y sin rayaduras.</p>	Control de calidad
	2. Aquí se trozan la madera en piezas mas cortas para que puedan ingresar otra vez a la linea de produccion.	Operador de Despuntadora
	3. Este proceso se realiza utilizando una maquina retestadora de alta velocidad y precisión de corte, que perfila los extremos del piso.	Operador de Retestadora
	4. Las piezas que no se encuentran dentro de los parametros de curvatura y brillo permitidos admitidos son lijados nuevamente.	Clasificador de revirado y brillo
	5. En esta estación de trabajo, mediante bandas de lijas se lijan las superficies superior e inferior de la madera.	Operador de Línea de Barniz
	6. En este proceso se aplica la primera capa de barniz que proporciona una excelente adherencia a todo tipo de madera.	Operador de Línea de Barniz
	7. En este proceso se seca la capa de barniz aplicada a la cara superficial de la madera mediante unas lámparas ultravioletas	Operador de Línea de Barniz
	8. En este proceso se aplican las demas capas de barniz que proporcionan: adeherencia a todo tipo de madera, resistencia al desgaste, y abrasion.	Operador de Linea de Barniz
	9. En este proceso se seca la capa de barniz aplicada a la cara superficial de la madera mediante unas lámparas ultravioletas	Operador de Línea de Barniz
	10. En este proceso se inspecciona la dureza, brillo y desgaste de las capas de barniz adheridas al piso machihembrado. Asimismo, se cogen muestras para realizar analisis de laboratorio.	Control de calidad
EMITE: Responsable del proceso	REVIS:	APRUEBA:

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado Fonseca Milton y otros 2015: 144

Área de Mantenimiento

Organización

El área de mantenimiento está bajo el control de la gerencia de Logística, Seguridad y Mantenimiento.

A su vez, el área de mantenimiento está dividida en las siguientes **secciones**:

- Mantenimiento eléctrico
- Mantenimiento mecánico industrial

- Mantenimiento de instalaciones
- Mantenimiento de flota automotriz
- Mecanizado de piezas
- Pintura de flota automotriz e industrial

En la siguiente figura 37, se muestra el organigrama del área de mantenimiento

Figura 37: Organigrama del área de Mantenimiento

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C
Elaboración propia 2017

1. **Gerente de Logística, Seguridad y Mantenimiento:** Es el máximo responsable del funcionamiento integral de las plantas a su cargo., teniendo bajo su responsabilidad el cumplimiento de los procesos, procedimientos, normas y objetivos establecidos por la gerencia.
2. **Coordinador de Mantenimiento:** Tiene como objetivo garantizar el funcionamiento integral de todas las operaciones de la empresa mediante la atención oportuna de necesidades y/o requerimientos de mantenimiento preventivo y correctivo, cumpliendo los procesos, normas y objetivos establecidos por la Gerencia de Logística Interna, Seguridad y Mantenimiento.
3. **Asistente de Mantenimiento:** Tiene como objetivo asistir en las labores administrativas del encargado de mantenimiento, así como evaluar, controlar, ejecutar y verificar, todas las actividades y medidas establecidas que competen a las acciones correctivas, preventivas y predictivas necesarias para mantener operativas todas las maquinarias, equipos y sistemas productivos pertenecientes a las distintas áreas, con el fin de cumplir satisfactoriamente los requerimientos en tiempo y calidad establecidos, así como las metas y objetivos definidos por la Gerencia de Logística Interna, Seguridad y Mantenimiento
4. **Técnico Electricista:** Tiene como objetivo ejecutar las órdenes de trabajo de mantenimiento preventivo y correctivo básico, en sistemas eléctricos,

electromecánicos, electro neumáticos y electro hidráulicos de máquinas en general pertenecientes a las distintas áreas de la empresa, con el fin de cumplir satisfactoriamente los requerimientos en tiempo y calidad establecida, así como, las metas y objetivos definidos por la Gerencia de Logística Interna, Seguridad y Mantenimiento.

5. **Técnico Mecánico:** Tiene como objetivo de evaluar, coordinar, ejecutar, y verificar, todas las actividades y medidas establecidas que competen a las acciones correctivas, preventivas y predictivas necesarias para mantener en un estado óptimo y operativo todas las maquinarias, equipos y sistemas productivos pertenecientes a las distintas áreas de la empresa, para poder cumplir satisfactoriamente los requerimientos en tiempo y calidad establecidos, así como también, las metas y objetivos definidos por la Gerencia de Logística Interna, Seguridad y Mantenimiento.
6. **Técnico Mecánico Automotriz:** Tiene el objetivo de ejecutar el mantenimiento preventivo y correctivo en sistemas mecánicos, hidráulicos de maquinaria pesada y en los diferentes tipos y modelos de vehículos con motores diésel, con el fin de cumplir satisfactoriamente los requerimientos en tiempo y calidad establecida, así como también, las metas y objetivos definidos por la Gerencia de Logística Interna, Seguridad y Mantenimiento.
7. **Técnico de Maquinas Herramientas:** Tiene como objetivo evaluar y ejecutar, todas las actividades y medidas establecidas que competen al correcto mecanizado de piezas y partes de maquinaria en general, pertenecientes a las distintas áreas de la empresa, con el fin de cumplir satisfactoriamente los requerimientos en tiempo y calidad establecida, así como, las metas y objetivos definidos por la Gerencia de Logística Interna, Seguridad y Mantenimiento.
8. **Técnico Pintor Industrial:** Tiene como objetivo de mantener en buen estado las estructuras del mobiliario y flota vehicular realizando las labores de pintado y planchado, con el fin de cumplir satisfactoriamente los requerimientos en tiempo y calidad establecidos, así como también, las metas y objetivos definidos por la Gerencia de Logística Interna, Seguridad y Mantenimiento.
9. **Mantenimiento de Instalaciones:** Tiene como objetivo el evaluar y ejecutar, todas las actividades y medidas establecidas que competen las acciones correctivas, preventivas y predictivas necesarias para mantener en un estado óptimo todos los ambientes e instalaciones pertenecientes a las distintas áreas de la empresa, para así poder cumplir satisfactoriamente los requerimientos en tiempo y calidad establecidos,

así como, las metas y objetivos definidos por la Gerencia de Logística Interna, Seguridad y Mantenimiento.

Proceso de reparación de máquina

En la figura 38 se detalla el proceso de atención de órdenes de servicio inicia cuando se recepciona la incidencia de la falla hasta que se reporta la conformidad de la reparación de la avería. Las reparaciones que no se pueden hacer en planta se mandan a servicio, para esto se necesita una orden de trabajo externa a proveedor de servicio, en la tabla 22 se detalla cada una de estas actividades.

El proceso de atención de órdenes de servicio está conformado por las siguientes etapas dentro del ciclo del proceso:

1. Recepción de incidencias
 - Se inicia el proceso con la recepción de un reporte por falla de equipo por parte del área de producción.
2. Emisión de la orden de trabajo interna (OT)
 - Se genera la orden de servicio y se asigna al área encargada la operación
3. Evaluación del problema
 - Se verifica si el problema se puede solucionar con personal de planta o requiere de servicio de mayor especialización (proveedores externos de servicio)
4. Generación de reporte
 - Se reporta el estado del problema para iniciar el proceso de emisión de OT externa.
5. Emisión de orden de trabajo externa
 - Se busca proveedor de servicio para reparación de equipo
6. Selección de personal técnico
 - De acuerdo al problema se seleccionará al personal adecuado para realizar la reparación
7. Reparación en campo
 - Se realiza reparación en el área de trabajo, debido al volumen de los equipos y su dificultar para su traslado.
8. Reparación en taller
 - Se traslada equipo al taller para realizar la reparación

- Se realiza la reparación de los equipos (parte eléctrica, electrónica , mecánica y fabricación de piezas)

9. Prueba de equipos

- Se realizan pruebas del correcto funcionamiento del equipo
- Se realiza entrega de equipo

10. Evaluación del servicio

- El personal de operaciones da el visto bueno de la reparación y evalúa la calidad del servicio brindado.

Figura 38: Proceso de mantenimiento

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C

Elaboración propia 2017

Tabla 22: Descripción de diagrama de flujo de mantenimiento correctivo

N°	ACTIVIDAD	RESPONSABLE	EXPLICACIÓN	REFERENCIA
1	Reporte de alguna incidencia del equipo	Operario asignado al equipo/Jefe de área	Si se presenta alguna incidencia que afecte el correcto funcionamiento del equipo, este es reportado por el operario.	
2	Emisión de la Nota de servicio	Jefe de área	El jefe de área producción corrobora lo que el operario sustenta sobre la alteración del normal funcionamiento del equipo, de ser así el Jefe emite una nota de servicio dirigido al área de Mantenimiento.	Formato Nota de Servicio
3	Recepción de la Nota de Servicio	Jefe de área o asistente de mantenimiento	El jefe o asistente de mantenimiento son las únicas personas que decepcionan y hacen válida la nota de servicio.	
4	Asignación de la sección más adecuada para atender la incidencia	Jefe de área o asistente de mantenimiento	El jefe o asistente de mantenimiento asignan la sección más adecuada para atender la nota de servicio.	
5	Asignación del técnico más idóneo	Jefe de área o asistente de Mantenimiento	Se asigna al técnico más idóneo y capacitado para realizar y solucionar la incidencia del equipo solicitado.	
6	Diagnóstico, evaluación y solución del problema	Técnico del área de mantenimiento asignado	El operario antes de iniciar la operación primero evalúa y diagnostica el equipo tratando de buscar las posibles causas que generaron su desperfecto.	
7	Reporte de la finalización de la tarea asignada	Operario asignado al equipo	El operario al finalizar el servicio reporta al jefe de mantenimiento que el servicio fue correctamente solucionado, en caso contrario notificara que el trabajo no pudo ser concluido por causas que escapan de sus posibilidades técnicas.	
8	Solución del defecto/falla	Operario asignado al equipo	Si se da solución o no, el servicio se da por finalizado. Dicho servicio independientemente del resultado será aprobado por el jefe o asistente de mantenimiento.	
9	Evaluación y calificación del servicio realizado	Jefe de área	El jefe que solicito la reparación evalúa el servicio prestado por el área de mantenimiento tomando como referente los ítems que tiene el formato de la Nota de Servicio.	Formato Nota de Servicio

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C

Elaboración propia 2017

Determinación de la problemática

Maderera Bozovich S.A.C es una empresa que fabrica productos de exportación de alta calidad y lo distribuye a diferentes partes del globo. Es por ello, que no puede permitir que en los sistemas de producción se presenten averías de máquinas que impidan el cumplimiento de los pedidos.

Por tal razón, se analiza la data histórica de las averías para identificar las más representativas en el problema principal. En el gráfico 6 y 7 se muestran las paradas de máquina no planificadas de las cuatro áreas.

Gráfico 6: Principales causas de paradas de maquina no planificada en planta en los años 2015

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C
Elaboración propia 2017

Gráfico 7: Principales causas de paradas de maquina no planificada en planta en los años 2016

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C
Elaboración propia 2017

En estos dos gráficos se ha podido determinar que las principales causas de paradas de máquina no planificada, están representadas por falla mecánica, eléctrica y electrónica, el primero representa 62.2% y el segundo 71.7% del total.

Identificación de Problema

De la problemática se puede determinar que las paradas de máquina no planificadas son las que ocasionan la baja disponibilidad, desde el punto 2.5 hasta el punto 2.5.5.4 se desarrolla a detalle este problema.

Disponibilidad de maquinas

Este indicador indica cuanto tiempo está disponible un equipo respecto del tiempo total que se hubiese deseado que funcionase. En la figura 39 se aprecia la fórmula de este indicador el cual nos ayuda a determinar la tendencia año a año.

Figura 39: Formula de disponibilidad

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Horas totales} - \text{horas paradas por mantenimiento}}{\text{Horas totales}}$$

Fuente: Fonseca Milton y otros 2015:146

En el gráfico 8 se presenta el análisis de este indicador mes a meses de los años 2015 y 2016. Aquí se puede apreciar una tendencia decreciente de la disponibilidad de las máquinas en los 24 meses. En este diagnóstico se evidencia un problema crítico para la empresa que le ocasiona pérdidas económicas que afectan su margen de utilidad.

El objetivo establecido por la compañía es de 95 % de disponibilidad, sin embargo, en estos dos años ha tenido una caída progresiva que ha sido afectada por las paradas de maquina no programados.

Gráfico 8: Disponibilidad de los equipos en los años 2015-2016

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C

Elaboración propia 2017

Tiempo Medio Entre Fallas (TMEF)

Con este indicador de mantenimiento se va a evaluar los tiempos medio entre fallas, con este diagnóstico determinaremos el tiempo promedio que tarda en averiarse un equipo o máquina, si el tiempo es más corto el sistema de producción no tendría continuidad desde el punto donde se encuentre la máquina averiada. El sistema corriente arriba estaría desabastecido y corriente abajo se acumularían productos en proceso, y también ocasionaría que los operadores estén parados continuamente por efectos de las averías.

El resultado de este indicador se obtiene mediante la relación del total de horas de operación en un periodo determinado, sobre el número de fallas durante el mismo periodo. Para calcularlo se hace mediante la siguiente fórmula:

Figura 40: Tiempo Medio Entre Fallas

$$\text{TMEF} = \frac{\text{Total de horas de operación}}{\text{Numero de fallas}}$$

Fuente: Fonseca Milton y otros 2015:146

En el gráfico 9 se presenta el análisis de este indicador, en cual se toma los 24 meses de los años 2015 y 2016. Aquí se puede visualizar que el tiempo promedio entre falla es cada vez más corto. En otras palabras, se tiene una confiabilidad de los equipos cada vez menor con el pasar de los meses, debido a que los equipos fallan más seguido.

La empresa tiene establecido que las averías deben tener un tiempo promedio de 48 horas para una mejor disponibilidad de máquinas.

Gráfico 9: Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) años 2015-2016

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C
Elaboración propia 2017

Tiempo Medio Para Reparar (TMPR)

Este indicador de mantenimiento mide el tiempo medio que se tarda para reparar un equipo o máquina, con este diagnóstico se puede determinar la tendencia de las averías, si estas tienen un comportamiento creciente o decreciente.

La fórmula para obtener este resultado, es mediante la relación entre el tiempo de mantenimiento total sobre el número total de fallas.

Figura 41: Tiempo Medio Para Reparar

$$\text{TMPR} = \frac{\text{Tiempo de mantenimiento total}}{\text{Numero de Fallas}}$$

Fuente: Fonseca Milton y otros 2015:146

Despues de analizar la data historia del año 2015 y 2016 se realizo el gráfico 10 donde se muestran los MTTR, la tendencia de los tiempos de repacion están muy lejos de la media, es decir la empresa tiene establecido un tiempo promedio de 2.5 horas y en la realidad algunos picos están en 4.5 horas.

Gráfico 10: Tiempo Medio Para Reparar (MTTR) años 2015-2016

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.
Elaboración propia 2017

Horas por fallas de maquina en las áreas productivas

Durante el año 2015 y 2016 la empresa ha tenido paradas ocasionadas por fallas de máquina en las diferentes áreas que conforman la cadena de producción, esto se debe a la deficiencias en el área de mantenimiento, que ocasiona que no se cumpla con la cuota semanal de producción. Por esta razón, la empresa tiene que pagar horas extras para cumplir con los pedidos a tiempo. Este escenario obliga analizar la data histórica para que se pueda determinar las paradas de maquina ocasionado por la falta de mantenimiento.

En la gráfico 11 se muestra las horas de parada no planificada ocasionada por fallas de máquinas en las distintas áreas de la empresa.

Gráfico 11: Horas de paradas de máquinas no planificadas ocasionadas por falla de máquina en las áreas productivas del año 2015 y 2016

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.
Elaboración propia 2017

Tabla 23: Total de horas de paradas de máquinas no planificadas ocasionadas por falla de máquina en las áreas productivas en los años 2015 y 2016

Etiquetas de fila	2015	2016	Total general
Transformacion Avanzada	7,067.57	5,151.43	12,219.00
Transformacion Secundaria	2,678.08	1,040.95	3,719.03
Linea de Barnizado	1,462.90	1,214.95	2,677.85
Hornos	1,784.46	629.33	2,413.79
Total general	12,993.01	8,036.66	21,029.68

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C
Elaboración propia 2017

En la tabla 23 se puede apreciar que en el área de Transformación Avanzada es la que tiene la mayor cantidad de horas paradas no planificadas ocasionadas por falla de máquina (mecánica, eléctrica y electrónica,) con 12 219, en segundo lugar le sigue Transformación Secundaria con 3 719, en tercer lugar Línea de Barnizado con 2 677, y por último Hornos con 2 413. Estas cuatro áreas productivas suman en total 21 029 horas de paradas de maquina no planificada ocasionadas por falla de máquina.

Arbol de problemas

Para determinar las fuentes de las posibles fallas se realiza un diagrama de árbol en el cual consta de cuatro niveles. Para el primer nivel se va a evaluar la data histórica donde se determina que la baja disponibilidad de las máquinas es afectada por tres causas. La primera es fallas mecánicas con 43 %, la segunda es fallas eléctricas con 36% y la última es fallas electrónica con 15%. El efecto de la baja disponibilidad es S/. 990,258.59 en horas extras al año y 8037 horas de paradas por falla de máquinas.

En la figura 42 muestra el diagrama de árbol, en ella se muestran las causas que ocasionan la baja disponibilidad de las máquinas.

Figura 42: Diagrama de árbol

Elaboración propia

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C. Adaptado de Trimiño y otros 2015: 420

Evidencia de Causas de 1° Nivel de problema

En el gráfico 12 se muestra las máquinas que tienen mayor incidencia de fallas en el área de Transformación Avanzada en los años 2015 y 2016

Gráfico 12: Distribución de horas de fallas de máquina en Transformación Avanzada

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C

Elaboración propia 2017

Evidencia de Causas de 2° Nivel de problema

Promedio de Técnicos en un nivel mediocre (66%)

En la tabla 24 se muestra el indicador de desempeño de los técnicos de mantenimiento del segundo semestre del 2016. En esta evaluación se consideran las competencias duras y blandas que están relacionadas con las siguientes sub-causas: Ausencia de planes de capacitación (B), Trabajos realizados a criterio del técnico (C), Falta de experiencia en el rubro (D).

De la tabla 24 se puede concluir que del total de los técnicos de mantenimiento un 35% se encuentra en el nivel regular, el 59% están en un rango mediocre y un 6% en un rango deficiente. Esto indica que estas deficiencias repercuten en la baja disponibilidad de los equipos.

Tabla 24: Resultados de evaluación de desempeño de personal de mantenimiento

OPERARIO	Eval.	Nivel
A	82.7%	2.84
B	80.6%	2.71
C	79.3%	2.62
D	75.5%	2.36
E	71.7%	2.11
F	70.1%	2.01
G	69.0%	1.95
H	67.4%	1.87
I	67.3%	1.86
J	66.0%	1.80
K	64.9%	1.74
L	64.4%	1.72
M	62.6%	1.63
N	61.7%	1.58
O	60.7%	1.53
P	57.9%	1.40
Q	29.8%	1.60
NIVEL MEIOCRE	59%	
NIVEL REGULAR	35%	
NIVEL DEFICIENTE	6%	

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Tabla 25: Criterios de evaluación de desempeño

Escalas	Nivel	Puntaje	Desc. Nivel	Plan de Acción 1	Plan de Acción Reincidente
0 a 50%	Deficiente	1	Hace referencia al nivel de expertis en la destreza referida, es decir, que tan hábil y/o experto es el trabajador en la actividad y/o función mencionada.	Elaborar un plan de acción detallado con metas e hitos de seguimiento claros, que sean medibles y evaluables en el tiempo para el periodo siguiente. Este plan de trabajo debe ser presentado para su revisión y validación por la Gerencia de Operaciones.	Si este resultado es reincidente, se deberá tener una reunión con el trabajador, jefe inmediato superior y el Gerente de Operaciones en donde se revisen los resultados, definan planes de acción con metas claras y medibles para el siguiente período. Firmar de compromiso por parte del trabajador.
51 a 70%	Mediocre	2			Si este resultado es reincidente, se deberá evaluar si se ha generado mejoras (que pueden ser sutiles) y definir con él trabajador y responsable directo los planes de acción y metas para el periodo siguiente. En caso no haya mejorado sino deteriorado, el plan de acción será el mismo que para el "deficiente reincidente".
71 a 85%	Regular	3		Revisar cuales fueron las causas de incumplimiento en cada una de las metas, y definir acciones correctivas para el período siguiente. Este plan de acción deberá ser presentado de manera informativa al Gerente de Operaciones para su conocimiento.	Si este resultado es reincidente, se deberá evaluar si se ha generado mejoras (que pueden ser sutiles) y definir con él trabajador las acciones correctivas para el periodo siguiente. En caso no haya mejorado sino deteriorado, el plan de acción y metas deberán ser revisadas por el Gerente de Operaciones y jefe inmediato superior para su validación. Firmar de compromiso por parte del trabajador.
86 a 95%	Bueno	4		Resultado deseable, definir un plan de acción y las metas para el siguiente periodo.	Resultado deseable, se deberá definir un plan de trabajo enfocado en mantener los resultados favorables que se han venido logrando para mantenerlos en el tiempo. Iniciar la formalización, documentación y estandarización de los procesos. Revisar las metas en caso justifiquen ajustarlas para los próximos períodos.
96 a 100%	Excelente	5		Revisar el perfil del trabajador, evaluar la posibilidad de su crecimiento dentro de la organización, definir un plan de trabajo para el periodo siguiente enfocado es su potencial de desarrollo y crecimiento profesional.	Candidato para incrementar la remuneración, darle mas responsabilidad y autonomía o promoverlo de puesto (asignarle gente a cargo, entre otros), en caso que lo anterior no sea viable se deberá definir un plan de trabajo para mantener los buenos resultados en el tiempo y garantizar el correcto desarrollo profesional del trabajador. Iniciar la formalización, documentación y estandarización de los procesos.

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Elevado número de mantenimientos correctivos (62%)

De la gráfica 13 se puede concluir que del total de actividades de mantenimiento que se realizaron en el año 2016 fueron de tipo correctivo con un total de 62%, en comparación con el 38% de actividades de tipo preventivo. Esto tuvo un impacto negativo en la productividad de la planta.

El autor

Gráfico 13: Tipos de mantenimientos ejecutados en el año 2016

Elaboración propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Trabajos de mantenimientos no ejecutados (29%)

En el gráfico 14 se presenta el análisis de este indicador de enero a diciembre del 2016. Aquí, también se muestra una tendencia decreciente de los trabajos que se ejecutaron dentro del plazo establecido “Cerrados”. Asimismo, en el mismo lapso de tiempo se puede apreciar la tendencia creciente de los trabajos no ejecutados.

En la gráfico 15 se visualiza que del total de trabajos de asignados en el año 2016 un 71% se cumplieron dentro del plazo establecido, mientras que un 29% de actividades se encontraron en condición de “En proceso”, es decir; no se terminaron en el tiempo establecido.

Gráfico 14: Tendencia de trabajos “Cerrados” y “En proceso” en el año 2016

Elaboración propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Gráfico 15: Trabajos de mantenimiento no ejecutados en el año 2016

Elaboración propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Evidencia de Causas de 3° Nivel de problema

Personal técnico no especializado

En la tabla 26 de se muestra la descripción de las categorías de los técnicos de mantenimiento.

Tabla 26: Descripción de categorías de Técnicos de Mantenimiento

Categorización de técnicos	Descripción de categoría
Técnico 1	Es el mas experimentado y capacitado en actividades pertenientes a mantenimiento de maquinas. Siendo estas las siguientes: evaluar, coordinar, ejecutar, y verificar, todas las actividades y medidas establecidas que competen a las acciones correctivas, preventivas y predictivas necesarias para mantener en un estado óptimo y operativo todas las maquinarias, equipos y sistemas productivos pertenecientes a las distintas áreas de la empresa
Técnico 2	Se le denomina a esta categoría al tecnico con habilidades cercanas a las de un Técnico 1. Sus funciones son: evaluar, coordinar, ejecutar, y verificar, todas las actividades y medidas establecidas que competen a las acciones correctivas, preventivas y predictivas necesarias para mantener en un estado óptimo y operativo todas las maquinarias, equipos y sistemas productivos pertenecientes a las distintas áreas de la empresa
Técnico 3	Se describe como el tecnico menos experimentado y capacitado en actividades pertenientes a mantenimiento de maquinas. En la escala jerarquica del area de mantenimiento esta por debajo del Técnico 2. Sus funciones estan enfocadas a nivel basico, siendo estas las siguientes: evaluar, coordinar, ejecutar, y verificar, todas las actividades y medidas establecidas que competen a las acciones correctivas, preventivas y predictivas necesarias para mantener en un estado óptimo y operativo todas las maquinarias, equipos y sistemas productivos pertenecientes a las distintas áreas de la empresa

Elaboración propia 2017

Fuente: La empresa

Gráfico 16: Distribución de intervenciones según categoría de técnico en el área de Transformación Avanzada

Elaboración propia 2017

Fuente: La empresa

En el gráfico 16 se visualiza que el Técnico 3 con 41% de participación, es el que tiene el mayor número de intervenciones, seguido del Técnico 1 con 30% y por último el Técnico 2 con 29%. De este análisis se puede determinar que la empresa cuenta con personal de

mantenimiento poco competente para las exigencias de la planta. Ya que la categoría de Técnico 3 se clasifica como el menos experimentado y capacitado.

Alta rotacion de personal

El el gráfico 17 se puede apreciar la cantidad y la antigüedad de pesonal que desertaron en el año 2017, por ejemplo, el promedio de deserción de personas que tienen una antigüedad mayor a un año es de 31.

Gráfico 17: Rotación de personal

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C
Elaboración propia 2017

Evidencias de causas de 4° Nivel del problema

Criterios de análisis para seleccionar las causas del cuarto nivel del árbol de problemas

Para seleccionar las causas del cuarto nivel del árbol de problemas se necesitó una encuesta en las que participaron 12 trabajadores de diferentes disciplinas como se detalla en la tabla 27

Este estudio fue descriptivo, ya que las causas del cuarto nivel son de tipo cualitativo y que son propiedades importantes del problema principal.

Tabla 27: Participantes de la encuesta

Actividad	Cantidad	Especialidad	Experiencia profesional
Especialista en mantenimiento eléctrico	2	Ingenieros Mecánico	20 años
		Ingenieros Mecánico	8 años
Técnico de mantenimiento	3	Técnico	9 años
Coordinador de mantenimiento	2	Ingeniero industrial	7 años
		Ingeniero industrial	9 años
Planificador de mantenimiento	1	Ingeniero Industrial	9 años
Operador de máquina	3	Maquinista	6 años
Jefe de producción	1	Ingeniero Industrial	20 años

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado de Díaz Concepción 2016: 139

Selección de la muestra

Para seleccionar una muestra lo primero que se definió fue la unidad de análisis, en este caso fue la posibilidad de determinar la(s) causa(s) principal que generan la baja disponibilidad de las máquinas. La muestra fue en base a causas relacionadas con la disponibilidad y el tipo de muestra a seleccionar fue la de sujetos-tipos, ya que es la apropiada para estudios exploratorios o en investigaciones del tipo cualitativo, y características de tipo expertos.

Método de análisis de la encuesta

En este caso se utilizó catorce causas, ante los cuales los expertos le asignaban una valoración de 1 al 4 en absoluto desacuerdo y 15 a 20 estoy muy de acuerdo. En la tabla 28 se detallan estos criterio.

Tabla 28: Criterios de evaluación

Puntuación de las a las respuestas			
Código	Intervalos		Descripción
NA	1	4	Estoy en absoluto desacuerdo
D	5	9	Estoy algo en de acuerdo
A	10	14	Estoy de acuerdo
MA	15	20	Estoy muy de acuerdo

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado de Díaz Concepción 2016: 139

Evaluación de la encuesta

Para determinar las causas que tienen mayor influencia el problema principal se tomaron los valores con mayor puntaje. En la tabla 29 se aprecian las causas y en el gráfico 18 se percibe con mayor detalle las causas más influyentes.

Gráfico 18: Causas más representativas

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C

Elaboración propia 2017

Tabla 29: Puntuación de las causas

Causas de cuarto nivel		Personas que participaron en la encuesta												Σ
		P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 7	P 8	P 9	P 10	P 11	P 12	
Ausencia de un sistema de gestión de mantenimiento	A	18	14	17	18	20	15	10	16	15	20	13	15	191
Ausencia de planes de capacitación para los técnicos	B	15	13	18	17	18	14	13	15	17	17	18	13	188
Trabajos de mantenimiento realizados a criterio del técnico	C	10	17	13	9	12	14	19	20	17	14	16	15	176
Técnicos con poca experiencia en el rubro maderero	D	11	10	20	17	15	17	11	13	12	16	18	11	171
Deficiencias en la selección de personal	H	12	9	13	11	16	18	8	10	5	12	8	6	128
Ausencia de perfil del puesto de trabajo para los técnicos de mantenimiento	L	5	3	8	6	14	9	11	8	10	4	3	5	86
Sueldos por debajo del mercado laboral Maderero	G	1	4	5	7	1	2	4	7	3	9	3	6	52
Baja motivación del personal	I	2	4	7	1	4	5	2	2	5	2	3	1	38
Inadecuado clima laboral	F	2	5	2	5	3	1	2	4	1	1	4	5	35
Deficiencias en la gestión de almacén	J	2	4	2	1	3	1	4	3	1	1	1	3	26
Falta de presupuesto para el área de mantenimiento	E	3	1	1	1	2	5	2	2	1	1	2	1	22
Deficiencias en el control de inventarios	K	2	1	2	1	3	1	2	1	3	1	1	2	20

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado de Trimiño y otros 2015: 421

En el grafico 18 se determina la causa más representativas del problema (Baja disponibilidad de máquinas), de este grafico se extrae las causas: Ausencia de un sistema de gestión de mantenimiento (A), Ausencia de planes de capacitación para los técnicos de mantenimiento (B), Trabajos de mantenimiento realizados a criterio del técnico (C), Técnicos con poca experiencia en el rubro maderero (D) y Baja motivación del personal (H).

Impacto económico

Tabla 30: Impacto económico ocasionado por las fallas de maquina en el año 2016

Áreas Productivas	Horas perdidas por fallo de maquina 2016	Promedio de personas por área 2016	Costo promedio de Hora Extra x Hora Hombre	Costo Total (M.O.) por fallo de maquina
Transformación Avanzada	5,151.43	40	S/. 4.40	S/. 906,651.68
Transformación Secundaria	1,040.95	10	S/. 4.40	S/. 45,801.80
Línea de Barnizado	1,214.95	5	S/. 4.40	S/. 26,728.90
Hornos	629.33	4	S/. 4.40	S/. 11,076.21
Total				S/. 990,258.59

Elaboración propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

En la tabla 30 se puede determinar el impacto económico que ocasiono las paradas de maquina como consecuencia de las fallas de mecánicas y eléctricas, en ella se considera el costo por hora hombre en el momento de la falla y el costo por hora extra que se tuvo que pagar al personal para cumplir con el programa de producción y no tener otros costos adicionales.

Por lo tanto, se ha llegado a la conclusión que hubo un costo innecesario de la mano de obra directa que asciende al monto de S/. 990,258.59. Para evitar esta pérdida es necesario reducir las paradas de maquina ocasionadas por las fallas mecánicas y eléctricas, si se logra esta meta se lograra incrementar la disponibilidad de los equipos. En consecuencia, aumentar la rentabilidad y productividad de la compañía.

Conclusiones del capítulo 2

- La empresa Maderera Bozovich S.A.C. presenta deficiencias en la operación de sus equipos de producción, esto se debe a que no se cuenta con un sistema de gestión de mantenimiento
- Se analizó la interacción de los sistemas y procesos, con ello se pudo determinar el problema y sus causas.
- Las herramientas que nos ayudaron a determinar el problema fueron el diagrama de Pareto, de árbol, de operaciones de proceso, multiproductos, e indicadores de mantenimiento.
- El análisis de la data histórica ayudo a determinas el problema principal del área de mantenimiento, este análisis ayudo en el calculó del impacto económico.
- Después de realizar el análisis de la data histórica con variables cualitativas, se pudo determinar que el problema actual de la empresa es la baja disponibilidad de sus equipos.

CAPITULO 3: PROPUESTA DE SOLUCIÓN AL PROBLEMA

En el presente capítulo se determinara la metodología que ayuda a la solución del problema, este análisis se realizará por medio de un Proceso de Análisis Jerárquico. Después de seleccionar la metodología se procederá a describir cada uno de los pasos en orden secuencial con el objetivo de analizar cada uno de ellos.

Alternativas de solución

En el presente proyecto se analizaran tres metodologías para poder atacar el problema. A continuación, se mencionan las metodologías

- Mantenimiento Centrando en Confiabilidad (RCM)
- Mantenimiento Productivo Total (TPM)
- Mantenimiento Basado en la Condición (CBM)

En la tabla 31, se presenta el análisis de las principales ventajas y desventajas de las tres metodologías mencionadas anteriormente. Este análisis permitirá seleccionar la metodología que mejor se adapte a la solución del problema en estudio.

Tabla 31: Ventajas y desventajas de los enfoques de mantenimiento

RCM	CBM	TPM
VENTAJAS		
<ul style="list-style-type: none"> • Trazabilidad • Ahorro de costos • Racionalización • Participación de operador y técnico de mantenimiento • Mejora de la confiabilidad de la planta 	<ul style="list-style-type: none"> • Exactitud • Centrado en el negocio • Posibilidad de auditoría integrada 	<ul style="list-style-type: none"> • Mejora de la productividad • Mejora de calidad • Reducción de costos • Participación del operador
DESVENTAJAS		
<ul style="list-style-type: none"> • Complejidad • Amplia necesidad de datos • Centrado en la fiabilidad • No se centra en la economía del problema 	<ul style="list-style-type: none"> • Complejidad • Amplia necesidad de datos 	<ul style="list-style-type: none"> • No es un verdadero concepto de mantenimiento • No tiene reglas de decisión sobre políticas de mantenimiento • No se centra en la economía del problema

Fuente: Mungani y otros 2013: 6

Criterio de elección de técnica a utilizarse

Para realizar la comparación de metodologías se ha optado por utilizar una matriz de Proceso de Análisis Jerárquico (AHP⁸⁸), que está diseñado para resolver problemas complejos de criterios múltiples.

La definición de los criterios de evaluación estuvo a cargo de un juicio de expertos, conformado por el gerente de operaciones, gerente de mantenimiento, jefe de producción, coordinador de mantenimiento, técnico de mantenimiento y operador de máquina.

En la tabla 32 se muestra los criterios de evaluación para el análisis de las metodologías de solución.

⁸⁸ AHP son las siglas de las palabras en inglés Analytic Hierarchy Process que se traduce al español como Proceso de Análisis Jerárquico.

Tabla 32: Criterios de evaluación

Criterios de evaluación
Disponibilidad de los equipos
Tiempo de implementación
Competencias del personal
Inversión

Fuente: Elaboración propia 2017

Asimismo, en la tabla 33 se muestran los criterios de evaluación con su respectivo puntaje.

Tabla 33: Ponderación de criterios

Valorización	Equivalencia	Puntaje
Igual importancia	Deficiente	1
Medianamente importante	Regular	2
Importante	Bueno	3
Muy importante	Excelente	5

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado Umaña y otros 2006: 73

Tabla 34: Criterios de evaluación

Matriz de comparacion									
Comparacion por pares (A con B)					Matriz Normalizada				
Criterios de evaluacion	Disponibilidad de los equipos	Tiempo de implementacion	Competencias del personal	Inversion	Disponibilidad de los equipos	Tiempo de implementacion	Competencias del personal	Inversion	Vector Promedio
Disponibilidad de los equipos	1.00	4.00	2.00	3.00	0.48	0.55	0.32	0.40	0.44
Tiempo de implementacion	0.25	1.00	3.00	0.50	0.12	0.14	0.47	0.07	0.20
Competencias del personal	0.50	0.33	1.00	3.00	0.24	0.05	0.16	0.40	0.21
Inversion	0.33	2.00	0.33	1.00	0.16	0.27	0.05	0.13	0.15
Total	2.08	7.33	6.33	7.50					

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado Umaña y otros 2006: 75

La matriz AHP de comparación de criterios, obtiene como resultado el vector promedio de cada criterio evaluado. Estos valores serán insertados en la matriz AHP final, con el fin de evaluar criterios versus metodologías a utilizarse. Posteriormente, se mostraran las tablas 35, 36, 37 y 38 de las variables comparativas considerando los criterios y las metodologías a utilizarse.

Tabla 35: Matriz de comparación de metodologías versus disponibilidad de equipos

Criterio: Disponibilidad de los equipos							
Comparacion por pares (A con B)				Matriz Normalizada			
METODOLOGÍA	RCM	MBC	TPM	RCM	MBC	TPM	Vector Promedio
RCM	1.00	2.00	2.00	0.50	0.29	0.62	0.47
MBC	0.50	1.00	0.25	0.25	0.14	0.08	0.16
TPM	0.50	4.00	1.00	0.25	0.57	0.31	0.38
Total	2.00	7.00	3.25				

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado Umaña y otros 2006: 75

Tabla 36: Matriz de comparación de metodologías versus tiempo de implementación

Criterio: Tiempo de implementacion							
Comparacion por pares (A con B)				Matriz Normalizada			
METODOLOGÍA	RCM	MBC	TPM	RCM	MBC	TPM	Vector Promedio
RCM	1.00	2.00	2.00	0.50	0.40	0.57	0.49
MBC	0.50	1.00	0.50	0.25	0.20	0.14	0.20
TPM	0.50	2.00	1.00	0.25	0.40	0.29	0.31
Total	2.00	5.00	3.50				

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado Umaña y otros 2006: 75

Tabla 37: Matriz de comparación de metodologías versus competencias del personal

Criterio: Competencias del personal							
Comparacion por pares (A con B)				Matriz Normalizada			
METODOLOGÍA	RCM	MBC	TPM	RCM	MBC	TPM	Vector Promedio
RCM	1.00	1.00	2.00	0.40	0.20	0.60	0.40
MBC	1.00	1.00	0.33	0.40	0.20	0.10	0.23
TPM	0.50	3.00	1.00	0.20	0.60	0.30	0.37
Total	2.50	5.00	3.33				

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado Umaña y otros 2006: 75

Tabla 38: Matriz de comparación de metodologías versus inversión

Criterio: Inversion							
Comparacion por pares (A con B)				Matriz Normalizada			
METODOLOGÍA	RCM	MBC	TPM	RCM	MBC	TPM	Vector Promedio
RCM	1.00	1.00	2.00	0.40	0.17	0.62	0.39
MBC	1.00	1.00	0.25	0.40	0.17	0.08	0.21
TPM	0.50	4.00	1.00	0.20	0.67	0.31	0.39
Total	2.50	6.00	3.25				

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado Umaña y otros 2006: 75

Después de haber realizado la evaluación de los criterios con cada metodología, se procederá a elaborar la matriz final con los resultados obtenidos de cada vector promedio de su respectiva metodología. En consecuencia, se tendrá el valor más alto que será el indicador de la metodología que se tendrá que utilizar para la resolución de nuestro problema. Ver tabla 39

Tabla 39: Matriz de evaluación final

Consolidado					
Metodologia	Disponibilidad de los equipos	Tiempo de implementacion	Competencias del personal	Inversion	Total promedio
RCM	0.47	0.49	0.40	0.39	0.44
MBC	0.16	0.20	0.23	0.21	0.20
TPM	0.38	0.31	0.37	0.39	0.36
PONDERADO	44%	20%	21%	15%	

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado Umaña y otros 2006: 75

Objetivos del proyecto

Objetivo General

Aumentar la disponibilidad de las máquinas en el sistema de producción mediante el uso de la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM).

Objetivos Específicos

1. Implementar un plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM).
2. Estandarizar los procedimientos de mantenimiento.
3. Incrementar la disponibilidad de los equipos
4. Desarrollar las conclusiones a partir del desarrollo de la investigación.

Indicadores cuantitativos

En el presente proyecto se analizaran indicadores cuantitativos de eficiencia para validar los objetivos indicados.

Figura 43: Formula de indicadores

Disponibilidad =	$\frac{\text{Horas totales} - \text{horas paradas por mantenimiento}}{\text{Horas totales}}$
Tiempo promedio entre falla =	$\frac{\text{N}^\circ \text{ Hrs totales del periodo de tiempo analizado}}{\text{N}^\circ \text{ de averías}}$
Tiempo promedio para la reparación =	$\frac{\text{N}^\circ \text{ de hrs de paro por averías}}{\text{N}^\circ \text{ de averías}}$

Fuente: Fonseca Milton y otros 2015:146

Costo de la implementación de RCM

Costo de la capacitación del personal

En la tabla 40 se muestra el costo total de la capacitación de RCM, para este cálculo se considera las horas dentro de horario de trabajo y el costo del curso por 40 horas académicas. El costo total de la capacitación asciende a S/. 25 610.00

Tabla 40: Costo de curso de RCM al equipo de trabajo

Item	Recursos	Actividad	Costo H-H	Costo curso RCM x 24Hrs	Cantd. Horas	Costo Total
1	Gerente de Operaciones	Reciben capacitación	S/. 41.67	S/. 3,800.00	24	S/. 4,800.00
2	Gerente de Mantenimiento	Reciben capacitación	S/. 37.50	S/. 3,800.00	24	S/. 4,700.00
3	Jefe de producción	Reciben capacitación	S/. 14.58	S/. 3,800.00	24	S/. 4,150.00
4	Coordinador de mantenimiento	Reciben capacitación	S/. 12.50	S/. 3,800.00	24	S/. 4,100.00
5	Técnico de mantenimiento	Reciben capacitación	S/. 6.25	S/. 3,800.00	24	S/. 3,950.00
6	Operador de maquina	Reciben capacitación	S/. 4.58	S/. 3,800.00	24	S/. 3,910.00
						S/. 25,610.00

Fuente: Elaboración propia 2017

Costo de las horas hombre

En la tabla 41 se muestran los costos del periodo de implementación del RCM de todo el equipo que lo conforman.

Tabla 41: Costo de implementación del RCM

Item	Recursos	Actividad	Cantd. Horas	Costo H-H	Costo Total
1	Gerente de Operaciones	Implementación de RCM	120	S/. 41.67	S/. 5,000.00
2	Gerente de Mantenimiento	Implementación de RCM	120	S/. 37.50	S/. 4,500.00
3	Jefe de producción	Implementación de RCM	120	S/. 14.58	S/. 1,750.00
4	Coordinador de mantenimiento	Implementación de RCM	120	S/. 12.50	S/. 1,500.00
5	Técnico de mantenimiento	Implementación de RCM	120	S/. 6.25	S/. 750.00
6	Operador de máquina	Implementación de RCM	120	S/. 4.58	S/. 550.00
					S/. 14,050.00

Fuente: Elaboración propia 2017

Costo de equipos de monitoreo

Para que las tareas de mantenimiento predictivo sean eficientes, se necesitan ciertos equipos de monitoreo. En la tabla 42 se detalla cada uno de ellos con sus respectivos precios y cantidad necesaria.

Tabla 42: Costo de equipos y herramientas de implementación del RCM

Item	Equipos		Marca	Precio S/.	Cantd	Costo Total
1	MEDIDOR D/VIBRACION C/REGISTRO D/DATOS		Extech	S/. 5,000.00	1	S/. 5,000.00
2	TERMOMETRO INFRARROJO, 12:1, -30°C A 650°C, 1 LASER		Fluke	S/. 15,500.00	1	S/. 15,500.00
3	ALINEADORES DE POLEAS TKBA 10 y TKBA 20		SKF	S/. 11,000.00	2	S/. 22,000.00
4	TENCIÓN DE CORREAS		FAG	S/. 6,000.00	1	S/. 6,000.00
5	DECIBELIMETRO 35-130DB SALIDA ANALOGICA AC/DC		AMPROBE	S/. 3,000.00	1	S/. 3,000.00
6	ALINEADORES DE EJES		SKF	S/. 35,000.00	2	S/. 70,000.00
7	HIGROTHERMOMETRO DIGITAL DE 0 A 100%RH ALTA PRECISION		EXTECH	S/. 6,000.00	1	S/. 6,000.00
8	MEDIDOR DE PRESIÓN		WIKA	S/. 4,000.00	1	S/. 4,000.00
						S/. 131,500.0

Fuente: Elaboración propia 2017

Elección de la propuesta solución

Después de haber realizado las comparaciones de las tres técnicas de gestión de mantenimiento, podemos concluir que el RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad) es la metodología que mejor se ajusta en la solución del problema (baja disponibilidad de los equipos del sistema de producción).

Propuesta de solución

Para la implementación de la metodología RCM se tomó como modelos los pasos de autor Barros y otros. Con este modelo se pudo construir los pasos que se van a utilizar para la implementación de esta metodología. Ver figura 44

En la figura 45 se puede apreciar los pasos adaptados para la implementación de la metodología RCM, esta adaptación consta de 8 pasos fundamentales para la implementación. El paso 8 concluye con un círculo de mejora continua el cual determina la continuidad de la metodología.

Figura 44: Diagrama de metodología del RCM II

Fuente: Barros y otros 2014:201

Figura 45: Pasos para la implementación de RCM

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado Barros y otros 2014:201

Paso 1: Persuadir a la Gerencia de Operaciones la adopción de la metodología

Las organizaciones están en un entorno dinámico y cambiante, estos cambios tienen un tiempo promedio más corto. En este sentido, la innovación y el cambio son muy importantes para las organizaciones con muchos años en el mercado y también para las nuevas. Las empresas se enfrentan a una competencia global, es por ello que no pueden descansar, estas deben seguir buscando nuevas estrategias de gestión con el objetivo de innovar y generar ventajas competitivas para penetrar a nuevos mercados globales, pero para lograr competir con eficacia las empresas suelen transformar cultura, estructura y operaciones. ⁸⁹

Las empresas que se resistan al cambio podrían convertirse en la mayor amenaza para el éxito en la implementación de la estrategia. La gente a menudo se resiste a la implementación de la estrategia porque no entiende lo que está sucediendo o las razones de los cambios. La implementación exitosa de la estrategia depende de la habilidad de los gerentes para desarrollar un clima organizacional que propicie el cambio. Los gerentes y empleados deben

⁸⁹ Cfr. López Duque y López Velásquez: 2013: 149

ver el cambio como una oportunidad y no como una amenaza⁹⁰. La siguiente cita describe la resistencia al cambio:

“El cambio organizacional debería verse hoy como un proceso continuo y no como un proyecto o suceso. Las organizaciones de mayor éxito en la actualidad se adaptan constantemente a los cambios en el ambiente competitivo y ellas mismas continúan cambiando a un ritmo acelerado. Hoy no es suficiente sólo con reaccionar al cambio. Los gerentes tienen que anticiparse a él y, de manera ideal, ser los promotores del mismo.” (Fred R. David 2008: 285)

Según lo citado anteriormente dice que los gerentes deben ser los promotores del cambio, de ellos depende el éxito de la implementación de una metodología. Entonces, para que la implementación de la metodología RCM sea exitosa en la empresa Bozovich, el gerente de mantenimiento y el gerente general deben adquirir esta metodología como una ventaja competitiva.

Paso 2: Selección del equipo de trabajo

El objetivo del equipo de trabajo, es que cada uno de ellos pueda proveer de información vital desde su perspectiva de los activos en estudio. Los integrantes elegidos pertenecen a distintos niveles de la organización y también los que pertenecen a las áreas relacionadas con el problema en estudio (baja disponibilidad de los equipos de producción). En la figura 46, se muestran los integrantes del equipo de estudio:

Figura 46: Equipo de estudios para la implementación RCM

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado Barros y otros 2014:201

⁹⁰ Cfr. Fred r. David 2008: 283

Paso 3: Capacitar al personal seleccionado

La capacitación de esta metodología se realiza por medio de un curso libre en una institución especializada en el entendimiento y aplicación de la metodología de RCM.

Paso 4: Descripción del sistema

El universo de producción de pisos machihembrados está conformado por cuatro sistemas denominados áreas, en cada sistema está compuesto por subsistemas (líneas) y se organizan como sigue:

El área de transformación secundaria (T.S), secado, transformación avanzada (T.A) y línea barnizado. Cada una de las máquinas que conforman estas áreas, tienen un contexto operacional diferente, es decir existe un modelo de máquina (despuntadora) que se encuentra en tres áreas diferentes (T.A, T.S y Barnizado). En este sentido, las fallas de esta máquina están en función al tiempo de operatividad que requiere cada área.

Figura 47: Clasificación de los sistemas, sub sistemas, etc.

Fuente: Guevara y otros 2015: 134

La figura 47 describe el orden de clasificación de los sistemas hasta llegar a los equipos o máquinas más críticas que impactan en el sistema de producción.

Paso 5: Descripción del subsistema

Después de identificar los sistemas de producción se procede a ubicar el sistema en el cual se va a centrar la investigación. El sistema elegido es el área de transformación avanzada, esta área fue determinada en el capítulo dos por ser la que tiene la mayor cantidad de paradas no

planificadas. El área de transformación avanzada se sub divide en cuatro líneas o subsistemas de producción.

- Línea de pre maquinado 1
- Línea de maquinado 1
- Línea de pre maquinado 2
- Línea de maquinado 2

Paso 6: Identificación de máquinas de T.A

Las máquinas que integran este subsistema de producción son los de la tabla 43 y los que aparecen en la tabla 44 son las de la línea que intervienen en la fabricación de pisos machihembrados.

Tabla 43: Inventario de máquinas de T.A

BOZOVICH tu fuente responsable de madera		Inventario de máquinas	
Area: Transformación Avanzada			
Verificado por: Miguel Ccapa			
Fecha: Marzo 2017			
Equipo		Marca	Cantidad
Despuntadora 3		Gulp	1
Despuntadora 9		Gulp	1
Moldurera 2		Weining	1
Moldurera 1		Weining	1
Optimizadora		Weining	1
Cepilladora 1		Extend Light	1
Multilamina 1		Kuang Yung	1
Multilamina 2		Kuang Yung	1
Retestadora 1		Unimaq 23 EL	1
Cepilladora 2		Extend Light	1
Despuntadora 2		Gulp	1
Despuntadora 4		Gulp	1
Medidor de Humedad		Marrari	1
Despuntadora 5		Gulp	1

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C
 Elaboración propia 2017

Tabla 44: Inventario de máquinas de las líneas Pre maquinado 1 y maquinado 1

BOZOVICH tu fuente responsable de madera	Inventario de máquinas	
Líneas: Pre maquinado 1 y Maquinado 1		
Verificado por: Miguel Ccapa		
Fecha: Marzo 2017		
Equipo	Marca	Cantidad
Moldurera 1	Weining	1
Cepilladora 1	Extend Light	1
Multilamina 1	Kuang Yung	1
Optimizadora	Weining	1
Retestadora 1	Unimaq 23 EL	1
Medidor de Humedad	Marrari	1
Despuntadora 5	Gulp	1

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C

Elaboración propia 2017

Paso 7: Identificar la criticidad de los equipos

Análisis de Criticidad

Después de que se haya definido las responsabilidades es muy importante realizar el análisis de los activos físicos en base a su criticidad, es decir, su mayor o menor impacto en el sistema productivo global. El análisis de criticidad es una metodología que permite definir la categoría o prioridades de un proceso, sistema y equipos. Este está determinado según el parámetro de valor conocido como "Criticidad" que es proporcional al "Riesgo". La criticidad de los activos se clasifica en crítico (C), semicrítico (SC), no crítico (NC), basadas en la evaluación probabilística del riesgo⁹¹.

Se emplea la evaluación cuantitativa debido a que la empresa Maderera Bozovich S.A.C. no tiene datos históricos de criticidad. El Método Cualitativo está basado en opiniones de especialistas, donde se combinan criterios técnicos y financieros para jerarquizar equipos.

El análisis de criticidad es una metodología para mejorar la confiabilidad operacional de los equipos. Este consiste en ordenarlos por orden de importancia decreciente, es decir se tiene que identificar los sistemas, los sub sistemas y los equipos de cada sub sistema de las plantas industriales en relación a las consecuencias que estos tienen cuando presentan fallas. Este análisis se realiza con el objetivo de facilitar la toma de decisiones cuando se realiza el plan de mantenimiento.

⁹¹ Cfr. Viveros y otros 2013: 130

Desde el punto de vista matemático podemos expresarlo de la siguiente manera:

$$\text{Criticidad} = \text{Consecuencia} \times \text{Frecuencia}$$

Donde tenemos qué:

- La frecuencia está en función al número de fallas que presenta el equipo
- La consecuencia está en función del impacto, costos de reparación, tiempo requerido, etc.

En la tabla 45 se detallan los criterios para evaluar la criticidad de los equipos de la empresa Bozovich.

Tabla 45: Tabla de criterios de criticidad

Variables		Concepto	Ponderación
1	Producción	Para	4
		Reduce	2
		No para	0
2	Valor técnico económico	Alto	4
		Medio	2
		Bajo	1
3	Daños consecuenciales		
a	al personal	SI	2
		NO	0
b	al proceso	SI	3
		NO	0
c	la máquina	Riesgo	1
		Sin riesgo	0
4	Dependencia logística	Extranjero	2
		Local	0
5	Dependencia de Mano de Obra	Terceros	2
		Propia	0
6	Probabilidad de falla (confiabilidad)	Alto	1
		Bajo	0
7	Facilidad de reparación (Mantenibilidad)	Alto	1
		Bajo	0
8	Flexibilidad	Simple	2
		By - pass	1
		Dual	0

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado de Guevara y otros 2015:135

La matriz de criticidad mostrada a continuación permite jerarquizar los equipos en tres categorías:

Figura 48: Matriz de criticidad

Fuente: Guevara y otros 2015:136

- No Críticos (NC)
- Semi Criticidad (SC)
- Crítico (C)

Tabla 46: Límites de criticidad

Descripción		Límite inferior	Límite superior
Criticidad alta	A	15	20
Criticidad media	B	8	14
Criticidad baja	C	1	7

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado de Guevara y otros 2015:136

En la tabla 46 se puede apreciar los límites inferior y superior que van a ayudar a determinar la criticidad de las máquinas, también aparecen las letras que indican cuales son las máquinas más críticas.

Paso 8: Identificación del contexto operacional de los equipos

- Fallas funcionales: Es toda aquella negación de las funciones de una máquina. Se clasifican en fallas funciones parciales o totales.
- Modos de falla: Representa las causas que dan origen a una falla funcional.
- Efectos de la falla: Representa las condiciones de cómo se manifiesta un modo de falla, si es evidente o no durante la operación.
- Consecuencias de las fallas: Es el impacto que tiene para el medio ambiente, la seguridad del operador y para la operación del proceso⁹².

En la tabla 47 se muestran los criterios de evaluación que se van a utilizar en el AMEF, en ella se consideran probabilidad de ocurrencia (O), de detección (D) y gravedad (S).

⁹² Cfr. Barros y otros 2014: 201

Tabla 47: Criterios de evaluación del AMEF

Probabilidad de ocurrencia (O)		Gravedad (S)		Probabilidad de detección (D)	
Muy escasa probabilidad de ocurrencia.	1	Ínfima. El defecto sería imperceptible por el usuario	1	Muy escasa. El defecto es obvio. Resulta muy improbable que no sea detectado por los controles existentes	1
Escasa probabilidad de ocurrencia. Muy pocos fallos en circunstancias pasadas similares	2 a 3	Escasa. El cliente puede notar un fallo menor, pero sólo provoca una ligera molestia	2 a 3	Escasa. El defecto, aunque es obvio y fácilmente detectable, podría raramente escapar a algún control primario, pero sería posteriormente detectado	2 a 3
Moderada probabilidad de ocurrencia. Defecto aparecido ocasionalmente	4 a 5	Baja. El cliente nota el fallo y le produce cierto enojo	4 a 5	Moderada. El defecto es una característica de bastante fácil detección	4 a 5
Frecuente probabilidad de ocurrencia. En circunstancias similares anteriores el fallo se ha presentado con cierta frecuencia	6 a 7	Moderada. El fallo produce disgusto e insatisfacción el cliente	6 a 7	Frecuente. Defectos de difícil detección que con relativa frecuencia llegan al cliente	6 a 7
Elevada probabilidad de ocurrencia. El fallo se ha presentado frecuentemente en el pasado	8 a 9	Elevada. El fallo es crítico, originando un alto grado de insatisfacción en el cliente	8 a 9	Elevada. El defecto es de naturaleza tal, que su detección es relativamente improbable mediante los procedimientos convencionales de control y ensayo	8 a 9
Muy elevada probabilidad de fallo. Es seguro que el fallo se producirá frecuentemente	10	Muy elevada. El fallo implica problemas de seguridad o de no conformidad con los reglamentos en vigor	10	Muy elevada. El defecto con mucha probabilidad llegará al cliente, por ser muy difícil detectable	10
NPR = S * O * D					

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado de Ahmad y AhasanKarim 2017: 126

Hoja de Información RCM

En esta sección se muestra una hoja típica de información RCM, ver tabla 48, la que se divide en columnas, en esta se registran la descripción de las funciones, pérdida de función, causas de falla y las consecuencias de fallas. Es importante considerar que las funciones se deben enumerar en orden de importancia, o primarias y secundarias, y de forma numérica. Con referencia a los modos de fallas son registradas mediante números. Por otro lado, las fallas funcionales son registradas por medio de letras.

Tabla 48: Hoja de información RCM de maquina Optimizadora

HOJA DE INFORMACION RCM	SISTEMA/ACTIVO: Línea Maquinado 1		SISTEMA N°: Producción			FECHA: Marzo 2017	Empresa: Maderera Bozovich S.A.C.
	SUB-SISTEMA/COMPONENTE: Optimizadora		SUB-SISTEMA N°: Transformación Avanzada				
FUNCION		FALLA FUNCIONAL	N°	MODO DE FALLA (Causa de falla)	CODIGO	EFECTOS DE FALLA (Que sucede cuando falla)	

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado Barros y otros 2014:205

Hoja de decisión RCM

La hoja de decisión de RCM está dividida en 16 columnas, ver tabla 49. Las columnas que contienen el encabezado de F, FF y MF determinan el modo de falla que se analiza en esa línea. Es necesario mencionar que estos encabezados se utilizan para correlacionar las referencias entre las hojas de decisión y hoja de información.

En las siguientes figuras, se detalla el encabezado de las siguientes diez columnas de la hoja de decision RCM:

- Las columnas con los encabezados H, S, E y O, ver fig. 50, son utilizadas para registrar las repuestas a las preguntas que se plantean sobre las consecuencias de los modos de fallas, colocando S o N (Si o No según corresponda).
- Las columnas siguientes (que contienen los títulos H1, H2, H3, etc.), ver figura 51, registran si ha sido seleccionada una tarea proactiva y de ser así se especifica qué tipo de tarea.
- Por otro lado, si es necesario responder a las preguntas “a falta de”, ver fig. 51, las columnas H4, H5 y S4 son las que permiten registrar las respuestas colocando S o N (Si o No según corresponda).
- Por último, las últimas tres columnas registran las tareas que han sido seleccionada (si la hay), la frecuencia con la que debe hacerse y la persona que ha sido seleccionada para realizar dicha tarea.⁹³

Tabla 49: Hoja de decisión RCM de máquina Moldurera 1

HOJA DE DECISION RCM				SISTEMA/ACTIVO: Línea Maquinado 1						SISTEMA N°: Producción				FECHA: Marzo 2017		Empresa: Maderera Bozovich S.A.C.				
				SUB-SISTEMA/COMPONENTE: Moldurera 1						SUB-SISTEMA N°: Transformación Avanzada										
				Referencia de Información				Evaluación de las consecuencias				H1	H2					H3	Tareas "a falta de"	
S1	S2	S3	O1									O2	O3							
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4								

Fuente: Elaboración propia adaptado Barros y otros 2014:205

⁹³ Cfr. Moubray 2004:206

Figura 49: Registro de las consecuencias de falla en la hoja de decisión

Fuente: Sexto, Luis Felipe 2010: 5

Figura 50: Criterios de factibilidad técnica

H1	H2	H3	
S1	S2	S3	
O1	O2	O3	
N1	N2	N3	
S			<p>¿Es técnicamente factible realizar una tarea a condición para reducir la consecuencia de la falla? ¿Hay alguna condición de falla potencial? ¿Cuál es? ¿Cuál es el intervalo P-F? ¿Es suficientemente largo como para ser de utilidad? ¿Es razonablemente consistente? ¿Es posible realizar la tarea a intervalos menores al intervalo P-F?</p>
N	S		<p>¿Es técnicamente factible una tarea de reacondicionamiento cíclico para reducir la frecuencia de la falla? ¿Hay una edad en la que aumenta rápidamente la probabilidad condicional de falla? ¿Cuál es? ¿Ocurren la mayoría de las fallas después de esta edad? ¿Restituirá la tarea la resistencia original a la falla?</p>
N	N	S	<p>¿Es técnicamente factible una tarea de sustitución cíclica para reducir la frecuencia de la falla? ¿Hay una edad en la que aumenta rápidamente la probabilidad condicional de falla? ¿Cuál es? ¿Ocurren la mayoría de las fallas después de ésta edad?</p>

Fuente: Moubray 2004: 209

Figura 51: Las preguntas "a falta de"

Referencia de Información	Evaluación de las consecuencias						H1	H2	H3	Tareas "a falta de"				
	F	FF	MF	H	S	E	O	S1 O1 N1	S2 O2 N2	S3 O3 N3	H4	H5	S4	
3	A	1		N				N	N	N	S			<p>¿Es técnicamente factible y merece la pena realizar una tarea de búsqueda de falla?</p> <p>Registrar "Si" si es posible realizar la tarea y resulta práctico hacerlo con la frecuencia requerida y reduce el riesgo de la falla múltiple a un nivel tolerable</p>
4	B	4		N				N	N	N	N	S		<p>¿Podría la falla múltiple afectar la seguridad o el medio ambiente?</p> <p>Sólo se hace esta pregunta si la respuesta a la pregunta H4 es "No". Si la respuesta a esta pregunta es "Si", el rediseño es obligatorio. Si la respuesta es "No", la acción "a falta de" es no realizar mantenimiento preventivo, pero el rediseño puede ser deseable.</p>
4	C	2		N				N	N	N	N	N		
5	B	2		S	S			N	N	N		S		<p>¿Es técnicamente factible y merece la pena realizar una combinación de tareas?</p> <p>Responder "Si", si una combinación de dos o más tareas proactivas cualquiera reduce el riesgo de falla a un nivel tolerable (esto rara vez sucede). Si la respuesta es "No", el rediseño es obligatorio.</p>
2	A	5		S	S			N	N	N		N		
1	A	5		S	N	N	S	N	N	N				<p>En estos dos casos, las consecuencias de la falla son puramente económicas y no se pudo encontrar una tarea proactiva apropiada</p> <p>Como resultado, la decisión "a falta de" inicial es no realizar mantenimiento programado, pero el rediseño puede ser deseable.</p>
1	B	3		S	N	N	N	N	N	N				

Fuente: Moubray 2004: 210

Prevenir las falla

Las acciones que se pueden tomar para prevenir las fallas son las tareas proactivas que se llevan a cabo antes de que una falla ocurra, el objetivo de estas acciones es evitar que el equipo llegue a su estado de falla. Estas tareas proactivas deben estar bien definidas en el

plan de mantenimiento predictivo y proactivo. Otras de las medidas preventivas, es implementar procedimientos operacionales o modificar los existentes para que estos cumplan con los objetivos de la metodología.

Los usuarios de mantenimiento deber ser formados para el entendimiento de los procedimientos realizados por técnicos de la empresa y también, por los realizados por técnicos de empresas externas. Todas las medidas de prevención deben estudiarse desde el punto de vista técnico y económico, para el primero se debe analizar qué medidas serían posible implantar y en el segundo se determinan el costo de cada medida, para eliminar aquellas medidas que no se justifiquen económicamente.

Cronograma de ejecución

De acuerdo a las fases señaladas en el proyecto para el desarrollo del RCM se realizó un programa de implementación de las actividades, que tiene un periodo de duración de 11 meses como se muestra en la tabla 50.

Tabla 50: Programa de ejecución de actividades para la implementación de RCM

Fuente: Elaboración propia 2017

Aplicación de los pasos RCM

En este subcapítulo se desarrollarán los pasos de la metodología RCM descritos en el capítulo tres.

Paso 1: Persuadir a la Gerencia de Operaciones la adopción de la metodología

Eficiencia Real de Producción en el área TA

La herramienta utilizada por la empresa es la OEE⁹⁴, con la data ingresada y con los gráficos que esta herramienta proporciona es fácil identificar la eficiencia real de producción (ERP). En los puntos A, B y C se va a detallar la Disponibilidad de las máquinas, el Rendimiento de las Máquinas y Calidad del Proceso. En la figura 52 se muestra la herramienta con todos sus complementos, en la tabla 51 se aprecia la data de análisis para nuestro proyecto, en el gráfico 19 se comparan todas las paradas de máquina y en la figura 53 están los indicadores de producción máquina de la línea de maquinado 1.

Figura 52: OEE y sus complementos

HERRAMIENTA DE INDICADORES						ACTUALIZADO
						09/03/2017 15:36
BOZOVICH PERÚ						GUARDAR
						SALIR SIN GUARDAR
						SALIR Y GUARDAR
INFORME SEMANAL	INFORME INDICADORES	TVC	ACT. INFO. 50000	ACT. COSTOS	Monitoreo de Tablas Dinámicas	
SEG. PROD.	TIEMPOS DE PARO	ACT. INFO. SISTEMA	ACT. INFO. INDICAD.	ACT. INFO. INDICAD. P.	ERRORES	
		UTILIZACIÓN CINTAS			DATOS	
					PARAMETRIZAR	
REGISTRO OEE - TVC		ACTUALIZACIÓN TOTAL		GRÁFICAS	PROGRAMACIÓN PRODUCCIÓN	

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C

⁹⁴ OEE: Overall Equipment Effectiveness, que traducido al español significa eficacia total del equipo

Tabla 51: Data de la OEE

NRO	NOMBRE OP.	MAQUINA	FECHA	HORO. I	HORO. F	H. INIC (Desde)	H. FIN (Hasta)	CÓD. ACT	TRIPULACIÓ	TURN	N° CINTI	ESPECIE	CONDICIÓN
524	TICLACONDOR DE LA CRUZ GLIVER Linea 1 Premaquinado		05/01/2016	0.0	0.0	07:30:00	07:40:00	P01	8	T1		Shihuahuaco/Cumarú	C1 Decking 21X145 BL L
524	TICLACONDOR DE LA CRUZ GLIVER Linea 1 Premaquinado		05/01/2016	0.0	0.0	07:40:00	07:50:00	P16	8	T1		Shihuahuaco/Cumarú	C1 Decking 21X145 BL L
524	TICLACONDOR DE LA CRUZ GLIVER Linea 1 Premaquinado		05/01/2016	0.0	0.0	07:50:00	08:35:00	P11	8	T1		Shihuahuaco/Cumarú	C1 Decking 21X145 BL L
524	TICLACONDOR DE LA CRUZ GLIVER Linea 1 Premaquinado		05/01/2016	0.0	0.0	08:35:00	08:40:00	M03	8	T1		Shihuahuaco/Cumarú	C1 Decking 21X145 BL L
524	TICLACONDOR DE LA CRUZ GLIVER Linea 1 Premaquinado		05/01/2016	5356.4	5358.1	08:40:00	10:13:00	PRO	8	T1		Shihuahuaco/Cumarú	C1 Decking 21X145 BL L
524	TICLACONDOR DE LA CRUZ GLIVER Linea 1 Premaquinado		05/01/2016	0.0	0.0	10:13:00	10:18:00	P09	8	T1		Shihuahuaco/Cumarú	C1 Decking 21X145 BL L
524	TICLACONDOR DE LA CRUZ GLIVER Linea 1 Premaquinado		05/01/2016	0.0	0.0	10:18:00	10:23:00	M11	8	T1		Shihuahuaco/Cumarú	C1 Decking 21X145 BL L
524	TICLACONDOR DE LA CRUZ GLIVER Linea 1 Premaquinado		05/01/2016	5358.1	5360.0	10:23:00	12:10:00	PRO	8	T1		Shihuahuaco/Cumarú	C1 Decking 21X145 BL L
524	TICLACONDOR DE LA CRUZ GLIVER Linea 1 Premaquinado		05/01/2016	0.0	0.0	12:10:00	12:15:00	P10	8	T1		Shihuahuaco/Cumarú	C1 Decking 21X145 BL L
524	TICLACONDOR DE LA CRUZ GLIVER Linea 1 Premaquinado		05/01/2016	0.0	0.0	12:15:00	13:00:00	REF	8	T1		Shihuahuaco/Cumarú	C1 Decking 21X145 BL L
524	TICLACONDOR DE LA CRUZ GLIVER Linea 1 Premaquinado		05/01/2016	5360.0	5361.2	13:00:00	14:36:00	PRO	8	T1		Shihuahuaco/Cumarú	C1 Decking 21X145 BL L
524	TICLACONDOR DE LA CRUZ GLIVER Linea 1 Premaquinado		05/01/2016	0.0	0.0	14:36:00	14:41:00	M02	8	T1		Shihuahuaco/Cumarú	C1 Decking 21X145 BL L
524	TICLACONDOR DE LA CRUZ GLIVER Linea 1 Premaquinado		05/01/2016	0.0	0.0	14:41:00	14:46:00	P09	8	T1		Shihuahuaco/Cumarú	C1 Decking 21X145 BL L
524	TICLACONDOR DE LA CRUZ GLIVER Linea 1 Premaquinado		05/01/2016	5361.2	5362.4	14:46:00	15:49:00	PRO	8	T1		Shihuahuaco/Cumarú	C1 Decking 21X145 BL L
524	TICLACONDOR DE LA CRUZ GLIVER Linea 1 Premaquinado		05/01/2016	0.0	0.0	15:49:00	15:54:00	P09	8	T1		Shihuahuaco/Cumarú	C1 Decking 21X145 BL L
524	TICLACONDOR DE LA CRUZ GLIVER Linea 1 Premaquinado		05/01/2016	0.0	0.0	15:54:00	16:00:00	M11	8	T1		Shihuahuaco/Cumarú	C1 Decking 21X145 BL L
524	TICLACONDOR DE LA CRUZ GLIVER Linea 1 Premaquinado		05/01/2016	5362.4	5364.1	16:00:00	17:25:00	PRO	8	T1		Shihuahuaco/Cumarú	C1 Decking 21X145 BL L
524	TICLACONDOR DE LA CRUZ GLIVER Linea 1 Premaquinado		05/01/2016	0.0	0.0	17:25:00	17:40:00	P10	8	T1		Shihuahuaco/Cumarú	C1 Decking 21X145 BL L
524	TICLACONDOR DE LA CRUZ GLIVER Linea 1 Premaquinado		05/01/2016	0.0	0.0	17:40:00	17:45:00	P01	8	T1		Shihuahuaco/Cumarú	C1 Decking 21X145 BL L

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C

Gráfico 19: Comparación de paradas de máquina

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C

Figura 53: Indicadores de producción máquina

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C

Figura 54: Ecuación del OEE

$$OEE = \text{Disponibilidad} \times \text{Índice de rendimiento} \times \text{Índice de calidad}$$

Fuente: Muchiri y otros 2014: 3289

A. Disponibilidad de las máquinas en Transformación Avanzada

El tiempo operativo real de cada una de las máquinas respecto al tiempo disponible previsto para la producción están detallados en la tabla 52. Para calcular la disponibilidad de utiliza la fórmula de la figura 55, el tiempo real de las máquinas produciendo pisos machihembrados están en la columna Tiempo Operativo y el tiempo previsto en el cual debió estar produciendo está en la columna Tiempo Disponible.

Figura 55: Formula de disponibilidad

$$\text{Disponibilidad}(\%) = \frac{(T.T.R. - T.P.P.) - T.P.N.P}{(T.T.R. - T.P.P.)} \times 100$$

Fuente: Adaptado de Fonseca Milton y otros 2015:146

Leyenda:

T.T.R = Tiempo total

T.P.P = Tiempo de paro planificado

T.P.N.P = Tiempo de paro no planificado

Tabla 52: Tabla de disponibilidad de máquinas

Etiquetas de fila	Suma de T.T.R.	Suma de T.P.P.(HORAS)	Suma de T.P.N.P.(HORAS)	Tiempo Operativo	Tiempo Disponible	Disponibilidad
Cepilladora 1	2,855.91	613.66	576.30	1,665.95	2,242.25	74%
Despuntadora 5	30.33	7.33	0.27	22.73	23.00	99%
Línea 1 Maquinado	2,729.58	810.45	924.57	994.57	1,919.13	52%
Línea 1 Premaquinado	2,765.50	584.90	589.32	1,591.28	2,180.60	73%
Medidor de Humedad	86.40	18.15	13.40	54.85	68.25	80%
Optimizadora	2,654.75	712.70	1,009.27	932.78	1,942.05	48%
Retestadora 1	2,458.41	528.95	642.40	1,287.06	1,929.46	67%
Total general	13,580.89	3,276.14	3,755.52			

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C

Elaboración propia 2017

En el gráfico 20 se muestra el comportamiento de disponibilidad de enero a diciembre de las 7 máquinas que intervienen en la fabricación de pisos machihembrados. Aquí también, se aprecia que nunca se llega a la meta de 95% establecida por la empresa, debido a las fallas de máquina.

Gráfico 20: Disponibilidad de (TA)

Elaboración propia 2017
Fuente: Maderera Bozovich S.A.C

B. Rendimiento de las Máquinas

El porcentaje real de producción de cada máquina esta descrita en la tabla 55 que tiene el nombre de “Rendimiento de las máquinas”. La producción real por semana está detallada en la tabla 54 y la producción esperada durante el mismo periodo de tiempo está en la tabla 53

Lo que se puede determinar, es que el rendimiento de las máquinas está cerca a la producción esperada; entonces, si se logra aumentar la disponibilidad de máquinas, aumentaría la Eficiencia Real de Producción.

Otro punto muy importante para lograr el incremento del ERP es la interacción y la sinergia positiva entre operaciones y mantenimiento, por medio de este se logra ejecutar los programas de mantenimiento preventivo. En la figura 56 se aprecia esta interacción entre el funcionamiento del equipo y el mantenimiento que impacta en el rendimiento.

Tabla 53: Producción Metros lineales (estándar)

Etiquetas de fila	Suma de AVL STD (ML)	Suma de TEC STD (Min.)	ML x Min	ML x Hora	ML x Dia
Cepilladora 1	662,608.22	20,766.00	31.91	1,914.50	15,315.99
Despuntadora 5	3,823.98	1,364.00	2.80	168.21	1,345.68
Linea 1 Maquinado	2,003,758.39	59,672.95	33.58	2,014.74	16,117.92
Linea 1 Premaquinado	3,203,192.00	79,735.08	40.17	2,410.38	19,283.01
Medidor de Humedad	50,101.07	3,291.00	15.22	913.42	7,307.36
Optimizadora	1,557,043.17	2,284,533.00	0.68	40.89	327.15
Retestadora 1	1,568,882.06	47,524.88	33.01	1,980.71	15,845.67
Total general	9,049,408.89	2,496,886.91			

Elaboración propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C

Tabla 54: Producción Metros lineales (real)

Etiquetas de fila	Suma de AVL R (ML)	Suma de TEC R (Min.)	ML x Min	ML x Hora	ML x Dia
Cepilladora 1	701,040.74	20,766.00	33.76	2,025.54	16,204.35
Despuntadora 5	3,426.02	1,364.00	2.51	150.70	1,205.64
Linea 1 Maquinado	1,856,945.85	59,504.49	31.21	1,872.41	14,979.27
Linea 1 Premaquinado	3,088,969.34	69,595.48	44.38	2,663.08	21,304.62
Medidor de Humedad	38,848.64	3,291.00	11.80	708.27	5,666.16
Optimizadora	1,416,163.80	2,284,533.00	0.62	37.19	297.55
Retestadora 1	2,135,692.00	47,524.88	44.94	2,696.30	21,570.43
Total general	9,241,086.39	2,486,578.85			

Elaboración propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C

Tabla 55: Rendimiento de las máquinas

Máquinas	Rendimiento de las Máquinas
Cepilladora 1	106%
Despuntadora 5	90%
Linea 1 Maquinado	93%
Linea 1 Premaquinado	110%
Medidor de Humedad	78%

Elaboración propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C

Figura 56: Interacción entre producción y mantenimiento

Fuente: Elaboración propia adaptado de Muchiri y otros 2014: 3289

C. Calidad del Proceso

En este punto se determina el porcentaje de calidad del producto conforme respecto a la totalidad de la producción realizada. Para el caso particular de Maderera Bozovich S.A.C lo toma como un 100% de calidad, es decir no toma en cuenta los productos defectuosos, en el grafico 21 se muestra el resultado de la calidad.

Gráfico 21: Calidad del proceso

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C

En el gráfico 22 se determina que hubo un costo innecesario de la mano de obra directa que asciende al monto de S/.990,258.59. Para evitar esta pérdida es necesario reducir las paradas de maquina ocasionadas por las fallas mecánicas, eléctricas y electrónicas.

Gráfico 22: Costo de M.O. ocasionadas por fallas de máquina en el año 2016

Fuente: Elaboración propia 2017

Por otro lado, en la tabla 56 se muestra el costo total de la implementación de la metodología RCM que es de S/.116, 260.00

Tabla 56: Costo de implementación de metodología de RCM

Inversión del mantenimiento propuesto	
Descripción	Costo
Plan de mantenimiento Cepilladora 1	S/. 3,996.0
Plan de mantenimiento Retestadora	S/. 3,996.0
Plan de mantenimiento Optimizadora	S/. 2,571.0
Plan de mantenimiento Moldurera 1	S/. 4,105.8
Capacitación RCM	S/. 25,610.0
Implementación RCM	S/. 14,050.0
Equipos de monitoreo	S/. 131,500.0
Sumatoria	S/. 185,828.8

Fuente: Elaboración propia 2017

En conclusión, la implementación de la metodología de RCM representaría el 18.7% del total de costo innecesario que se tuvo que pagar el personal por las paradas de máquina.

$$\text{Costo metodología RCM} = \frac{S/.185,828.8}{S/. 990,258.59} = 18.7\%$$

Paso 2: Selección del equipo de trabajo

El grupo de trabajo (Ver tabla 57) tiene como objetivo los siguientes puntos:

- Determinar los requisitos de mantenimiento de una máquina en específico o una parte del proceso en particular
- Analizar el contexto en el cual está operando el activo
- Actualizar la hoja de información en función a su contexto operacional actual
- Usar el diagrama de decisión de RCM para decidir cómo tratar cada uno de los modos de falla indicados en la hoja de información actualizada

Tabla 57: Equipo de trabajo

N°	Cargo	Especialidad	Experiencia profesional
1	Gerente de operaciones	Ingeniero electrico	10 años
2	Técnico de mantenimiento	Técnico	6 años
3	Coordinador de mantenimiento	Ingeniero industrial	7 años
4	Gerente de mantenimiento	Ingeniero mecánico	20 años
5	Operador de máquina	Maquinista	6 años
6	Jefe de producción	Ingeniero industrial	20 años

Fuente: Elaboración propia 2017

El grupo de RCM tiene que ser multidisciplinario altamente proactivo para que permita un acceso metódico al conocimiento y a la experiencia de cada miembro. En este sentido, los integrantes del equipo tendrán funciones específicas relacionadas a su disciplina. Estas funciones se detallan en la tabla 58.

Tabla 58: Tareas y funciones del equipo RCM

TAREAS Y FUNCIONES DE LOS INTEGRANTES RCM	
Responsable	Descripción
Gerente de operaciones	El gerente de operaciones es quien: <ul style="list-style-type: none"> • Planifica, programa y dirige las reuniones • Evalúa los resultados de la metodología • Ayuda a la aplicar correcta de la metodología RCM y evaluará su correcta comprensión, y aplicación por parte de los miembros del grupo. • Decide a que nivel se realizará el análisis de modos falla
Técnico de mantenimiento	El técnico de mantenimiento es quien: <ul style="list-style-type: none"> • Realiza el informe de las fallas mecánicas, eléctricas y electrónicas de las máquinas. • Informará el porcentaje de avance de las tareas de mantenimiento. • Proveer la información de las paradas de maquina no planificadas
Coordinador de mantenimiento	El coordinador de mantenimiento es quien: <ul style="list-style-type: none"> • Realiza el informe de la criticidad de los equipos de cada uno de los sub-sistemas de producción. • Gestiona los plazos para que se logre terminar a tiempo las tareas asignas. • Informa a todos los integrantes sobre los avances o retrasos.
Gerente de mantenimiento	El gerente de mantenimiento es quien: <ul style="list-style-type: none"> • Define claramente los objetivos • Maneja los recursos físicos, financieros y humanos • Administra los costos y presupuestos • Vigila las tres restricciones (calidad, costo y tiempo) para que se gestione adecuadamente • Programa capacitaciones para el personal técnico de mantenimiento • Contrata personal calificado para el área de mantenimiento
Operador de máquina	El operador es quien realiza informes sobre: <ul style="list-style-type: none"> • Las tareas de conservación efectuadas • Las inspecciones de las tareas de conservación • Los tipos de falla de las máquinas • Las condiciones del lugar de trabajo
Jefe de producción	El jefe de producción es quien: <ul style="list-style-type: none"> • Realiza el plan maestro de producción • Coordinara las fechas para trabajos de mantenimiento preventivo en función al plan maestro.

Fuente: Elaboración propia 2017

Paso 3: Capacitar al personal seleccionado

Para implementar la metodología se requiere que los integrantes del grupo RCM sean debidamente capacitados. Para ello, los integrantes serán formados en una institución (TECSUP) especializada en este tema.

El temario de la capacitación es como se muestra en la figura 57 y en la tabla 59 se detalla los horarios.

Figura 57: Temario de capacitación de RCM

Fuente: Elaboración propia 2017

El temario de la capacitación para el equipo que realizara la implementación de la metodología RCM. La duración del curso es de 48 horas que se dividirá en dos meses, es decir, cada semana tendrá una permanencia de 6 horas.

Tabla 59: Cronograma de capacitación

Cronograma de capacitación en RCM			Primer mes																				Segundo mes																
			Primera semana					Segunda semana					Tercera semana					Cuarta semana					Quinta semana				Sexta semana				Séptima semana				Octava semana				
Integrantes	Tema	Duración	L	M	M	J	V	L	M	M	J	V	L	M	M	J	V	L	M	M	J	V	L	M	M	J	V	L	M	M	J	V	L	M	M	J	V		
Todos los integrantes del equipo RCM	1. Introducción	6 horas	2																																				
	1.1 El mundo cambiante del mantenimiento																																						
	1.2 El mantenimiento y el RCM																																						
	1.3 Las 7 preguntas básicas del RCM				2																																		
	1.4 El proceso RCM					2																																	
	1.5 Logros del RCM						2																																
	1.6 Los 6 modelos de falla							2																															
	2. Las funciones de los equipos	6 horas						2																															
	2.1 Descripción de una función																																						
	2.2 Los estándares de rendimiento									2																													
	2.3 El contexto operativo										2																												
	2.4 Elaboración de la lista de funciones											2																											
	3. Las fallas funcionales	6 horas												3																									
	3.1 El concepto de la falla																																						
	3.2 El concepto de falla funcional																3																						
	4. Los modos de falla y el análisis de efectos (FMEA)	6 horas																																					
	4.1 Definiciones / Categorías																		2																				
	4.2 Los niveles de detalle																																						
	4.3 El efecto de la falla																				2																		
	4.4 Las fuentes de información																																						
	4.5 Los niveles de análisis																							2															
	5. Las consecuencias de fallas	6 horas																																					
	5.1 Factibilidad técnica y beneficios de su aplicación																																						
5.2 Las funciones ocultas y las funciones evidentes																																							
5.3 La seguridad y las consecuencias del medio ambiente																																							
5.4 Las consecuencias operacionales y no operacionales																																							
5.5 Las consecuencias de las fallas ocultas																																							
6. El diagrama de decisión del RCM	6 horas																																						
6.1 El proceso de decisión del RCM	6 horas																																						
7. Recomendaciones para la implementación	6 horas																																						
8. Aplicaciones del proceso RCM	6 horas																											</											

Fuente: Elaboración propia 2017

Paso 4: Identificación del sistema

La fabricación de pisos está compuesta por cuatro sistemas de producción y encada uno de estos sistemas está compuesto por subsistemas con sus respectivas máquinas con contextos operacionales distintos.

En la figura 58 se muestra el universo con cuatro sistemas de producción global y estos tienen sus respectivos subsistemas.

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado de Guevara y otros 2015: 134

En el gráfico 23, se muestra las horas de parada no planificadas por falla de máquina en cada uno de los sistemas denominados. Este gráfico permite identificar que el sistema (transformación avanzada) es el que tiene mayor cantidad de horas de parada por falla de máquina.

Gráfico 23: Horas de parada no planificadas por falla de máquina

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Elaboración propia 2017

Las evidencias son claras de que el área de transformación avanzada es la que tiene mayor horas de parada, estas horas son: 7,067.57 horas en el año 2015 y 5, 151.43 horas en el año 2016.

Paso 5: Identificación del subsistema

En la figura 59, se grafica el sistema de producción (TA) y la interacción de sus cuatro subsistemas denominados líneas.

Figura 59: Subsistemas de producción

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado de Guevara y otros 2015: 134

La investigación se centrará en el sistema (transformación avanzada), en este sistema se realizará el listado de los equipos de cada una de las líneas o subsistemas que lo componen, para luego evaluar su criticidad, lo que permitirá determinar qué máquinas son las más críticas dentro del proceso de fabricación de este sistema.

El área o sistema de transformación avanzada será el piloto para la implementación de la metodología lo que después se aplicará a los demás sistemas o áreas de producción.

En el siguiente Layout se muestra la distribución a detalle la línea de pre maquinado 1 y maquinado 1 que pertenecen al área o sistema de transformación avanzada, en este sistema se encuentran las máquinas con mayor criticidad y es por ello que se hizo el Layout de la figura 60.

Figura 60: Diagrama de recorrido de Transformación Avanzada

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado de Escalante, Amparo y Domingo, José 2015: 490

En el diagrama de recorrido de la figura 60 se muestra la secuencia de fabricación de pisos machihembrados y la interacción de las máquinas, asimismo, se detallan los almacenajes, las operaciones y traslados. Los círculos de color azul indican las máquinas críticas de los subsistemas que pertenecen al área de transformación avanzada.

Figura 61: Leyenda de simbología

Operación
Almacenaje
Transporte
Espera

Elaboración propia 2017 adaptado de Escalante, Amparo y Domingo, José 2015: 91

Paso 6: Identificación de máquinas de Transformación Avanzada

Después de identificar el subsistema en el paso anterior, se realiza el inventario de las máquinas que integran todo el sistema de transformación avanzada, este inventario permitirá identificar la máquinas más críticas y a que subsistema pertenecen. En la tabla 60 están detalladas las máquinas con su respectivo nombre, marca y cantidad.

Tabla 60: Inventario de máquinas de T.A

BOZOVICH <small>tu fuente responsable de madera</small>			Inventario de máquinas
Area: Transformación Avanzada			
Verificado por: Miguel Ccapa			
Fecha: Marzo 2017			
Equipo	Marca	Cantidad	
Despuntadora 3	Gulp	1	
Despuntadora 9	Gulp	1	
Moldurera 2	Weining	1	
Moldurera 1	Weining	1	
Optimizadora	Weining	1	
Cepilladora 1	Extend Light	1	
Multilamina 1	Kuang Yung	1	
Multilamina 2	Kuang Yung	1	
Retestadora 1	Unimaq 23 EL	1	
Cepilladora 2	Extend Light	1	
Despuntadora 2	Gulp	1	
Despuntadora 4	Gulp	1	
Medidor de Humedad	Marrari	1	
Despuntadora 5	Gulp	1	

Elaboración propia 2017

Fuente: La empresa

Paso 7: Identificar la criticidad de los equipos

Análisis de Criticidad

En este paso se evalúa la criticidad de las máquinas que pertenecen al sistema de transformación avanzada. En la tabla 62, se aprecia la Moldurera 1, Optimizadora, Cepilladora 1 y Retestadora 1 como máquinas críticas, para el proceso de fabricación de pisos machihembrados. A cada una de estas máquinas se le realizará la hoja de información, la hoja de decisión y los análisis de los modos de falla (el desarrollo a detalle de estas hojas están en el paso 8), esta información es vital importancia para realizar el plan de mantenimiento.

En la tabla 61 se muestra los tipos de mantenimiento que se aplicará a cada máquina de acuerdo a su criticidad.

Tabla 61: Tipo de mantenimiento de acuerdo la criticidad

ESCALA DE REFERENCIA	CANTIDAD	TIPO DE MANTENIMIENTO
CRÍTICO A	4	Predictivo y preventivo
CRÍTICO B	4	Preventivo
CRÍTICO C	6	Correctivo

Fuente: Elaboración propia 2017

El análisis obtenido en la tabla anterior ayudara a priorizar los equipos que se debe poner mayor atención debido a su importancia en el sistema de producción.

En la primera fila de la tabla 62 se aprecia los criterios de evaluación que se aplicaran a cada una de las máquinas. La ponderación de estos criterios lo realizó el equipo multidisciplinario que se detalló en el paso 2.

Las máquinas que están con la letra “A” son las más críticas dentro del sistema TA, a estas máquinas se le elaborarán el AMEF para determinar los modos de falla más representativos.

Tabla 62: Resumen de criticidad de máquinas

ITEM	MÁQUINAS	Producción	Valor técnico ecnómico	Daños consecuenciales al personal	Daños consecuenciales al proceso	Daños consecuenciales la máquina	Dependencia logística	Dependencia de Mano de Obra	Probabilidad de falla	Facilidad de reparación	Flexibilidad	Puntuación	Criticidad
1	Moldurera 1	4	4	0	3	2	0	2	1	1	2	19	A
2	Optimizadora	4	4	0	3	2	0	2	1	1	2	19	A
3	Cepilladora 1	4	4	0	3	2	0	2	1	0	1	17	A
4	Retestadora 1	2	4	0	3	2	0	2	1	0	1	15	A
5	Moldurera 2	3	2	0	3	0	0	2	1	0	2	13	B
6	Despuntadora 2	2	1	0	3	0	0	2	1	0	1	10	B
7	Multilamina 2	2	1	0	3	0	0	2	0	0	1	9	B
8	Despuntadora 5	2	1	0	3	0	0	2	0	0	1	9	B
9	Multilamina 1	2	2	0	0	0	0	2	0	0	1	7	C
10	Cepilladora 2	0	1	0	0	0	0	2	1	0	1	5	C
11	Despuntadora 4	0	1	0	0	0	0	2	1	0	1	5	C
12	Medidor de Humedad	0	1	0	0	0	0	2	0	0	1	4	C
13	Despuntadora 3	0	1	0	0	0	0	2	0	0	1	4	C
14	Despuntadora 9	0	1	0	0	0	0	2	0	0	1	4	C

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado de Ahmad y AhasanKarim 2017: 126

Características técnicas de máquinas críticas de Transformación Avanzada

En las siguientes figuras y tablas se muestran progresivamente las características técnicas de las 4 máquinas más críticas, siendo estas las siguientes: Moldurera 1, Retestadora, Optimizadora y Cepilladora 1.

1. Moldurera 1

Figura 62: Ficha técnica de máquina Moldurera 1

FICHA TÉCNICA DEL EQUIPO

DATOS TECNICOS	
Modelo	U 23EL
N° Serie	105392
Marca	Michael Weining AG
Nombre del equipo	Moldurera
Función que realiza	Moldurado de pisos
Ubicación	Transformación Avanzada
Frecuencia	60Hz
Tensión	220V
País procedencia	Republica Federal de Alemania
DATOS DE CONDICION	
Estado del equipo	Operativo
Importancia critica	Critica
Año de fabricación	2005

Elaboración propia 2017

Fuente: La empresa

Figura 63: Vista de conjunto de máquina Moldurera 1

Fuente: La empresa

Tabla 63: Sistemas y Subsistemas de máquina Moldurera 1

Moldurera 1		
Sistema	N°	Sub-Sistema
Elementos de mando de la máquina	1	Interruptor principal en el armario de mando
	2	Unidad de mando (Opción)
	3	Panel de mando con tecla de parada de emergencia
	4	Elementos de mando adicionales (opciones)
	5	Paneles de mando en la consola con tecla de parada de emergencia
Conducción de las piezas	6	Mesa de alimentación
	7	Guía enderezadora
	8	Mesa de la máquina
	9	Tope de la máquina
	10	Mesa de salida
	11	Grupo de avance
Husillos	12	1er husillo inferior (Planeadora)
	13	1er husillo derecho (Husillo de canteado)
	14	1er husillo izquierdo
	15	1er husillo superior
	16	2º husillo inferior
	17	Husillo universal
Componentes protegidos para la prevención de accidentes	18	Armario de mando
	19	Capota de la máquina

Elaboración propia 2017

Fuente: La empresa

2. Retestadora

Figura 64: Ficha técnica de máquina Retestadora

FICHA TECNICA DEL EQUIPO

DATOS TECNICOS	
Modelo	RANDOM
N° Serie	5957
Marca	GMC
Nombre del equipo	Retestadora
Función que realiza	Retestado de pisos
Ubicación	Transformación Avanzada
Potencia	54KW
Tensión	380 / 60Hz
País procedencia	Republica Italiana
DATOS DE CONDICION	
Estado del equipo	Operativo
Importancia critica	Critica
Año de fabricación	2008

Elaboración propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Figura 65: Vista de conjunto de máquina Retestadora

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Tabla 64: Sistemas y Subsistemas de máquina Retestadora

Retestadora		
N°	Sistema	Sub-Sistema
1	Sierra de punta inferior 1pos.	1.1 Apoyo cruzado
		1.2 Tornillo de movimiento horizontal
		1.3 Tornillo de movimiento vertical
		1.4 Artículos adicionales
2	Sierra de punta superior 2pos.	2.1 Apoyo cruzado
		2.2 Tornillo de movimiento horizontal
		2.3 Tornillo de movimiento vertical
		2.4 Artículos adicionales
3	Cabezal de fresado vertical con doble motor - 3Pos.	3.1 Apoyo cruzado
		3.2 Tornillo de movimiento vertical
		3.3 Artículos adicionales
4	Sierra de punta inferior 4Pos.	4.1 Apoyo cruzado
		4.2 Tornillo de movimiento horizontal
		4.3 Tornillo de movimiento vertical
		4.4 Artículos adicionales
5	Sierra de punta superior 5Pos.	5.1 Apoyo cruzado
		5.2 Tornillo de movimiento horizontal
		5.3 Tornillo de movimiento vertical
		5.4 Artículos adicionales
6	Cabeza de fresado vertical con doble motor 6Pos.	6.1 Apoyo cruzado
		6.2 Tornillo de movimiento vertical
		6.3 Artículos adicionales

Elaboración propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

3. Optimizadora

Figura 66: Ficha técnica de máquina Optimizadora

FICHA TECNICA DEL EQUIPO

DATOS TECNICOS	
Modelo	OptiCup 350-4
N° Serie	2653.10
Marca	Michael Weining AG
Nombre del equipo	Optimizadora
Función que realiza	Trozado de pisos
Ubicación	Transformación Avanzada
Potencia	18KW
Tensión	220V / 60Hz
País procedencia	Republica Federal de Alemania
DATOS DE CONDICION	
Estado del equipo	Operativo
Importancia critica	Critica
Año de fabricación	2005

Elaboración propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Figura 67: Vista de conjunto de máquina Optimizadora

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Tabla 65: Sistemas y Subsistemas de máquina Optimizadora

OptiCup 350-4		
N°	Sistema	Sub-Sistema
1	Estación de marcado	1.1 Estación de marcado de tiza
		1.2 Rodillo de desviación
		1.3 Estación de marcado con accionamiento
2	Alimentación	2.1 Banda transportadora
		2.2 Tren de banda transportadora
		2.3 Elemento de sujeción de rodillo presión
		2.4 Servomotor de cinta transportadora
3	Estación de medición para marcas de tiza	3.1 Estación de medición - piezas electrónicas
		3.2 Estación de medición - opciones
		3.3 Estación de medición - mecánica
4	Sistema de control / Armario de distribución	4.1 Armario de PC (módem y software)
		4.2 Transformador
		4.3 Opción de enfriador
		4.4 Armario de distribución
5	Estación de aserrado	5.1 Unidad de aserrado - ajuste de la carrera de sierra
		5.2 Unidad de aserrado - neumática
		5.3 Unidad de aserrado - mecánica
		5.4 Accionamiento de la hoja de sierra - Enginges
		5.5 Accionamiento de la hoja de sierra
		5.6 Impulsión de la cinta transportadora
		5.7 Hodds y puertas de seguridad
		5.8 Máquina básica - sensor de fotos
		5.9 Rail de corte
		5.10 Máquina básica - soporte de rodillos
		5.11 Rodillo de alimentación
		5.12 Alimentación - neumática
		5.13 Rueda de medición
		5.14 Máquina básica - neumática
		5.15 Terminal "OptiCom"
		5.16 Herramientas - Láminas de sierra
		5.17 Unidad de aserrado - ajuste de la carrera de la sierra
		5.18 Mangueras de escape
		5.19 Ajuste de altura
		5.20 Ajuste de altura - Eléctrico
		5.21 Alimentación de la unidad (parte inferior de la unidad)
		5.22 Alimentación - opción con alimentación
		5.23 Alimentación de la unidad (unidad en la parte superior)
		5.24 Alimentación (encoder)
		5.25 Alimentación (eje cardán)
		5.26 Unidad de aserrado - cilindro de pretensado
		5.27 Tanque
6	Salida	6.1 Eyector
		6.2 Rodillo de carga, Interruptor de proximidad
		6.3 Motor de engranaje deslizante - SEW
		6.4 Motor de engranaje deslizante - KEB
		6.5 Clasificación - piezas electrónicas
		6.6 Unidad de mantenimiento
		6.7 Banda transportadora

Elaboración propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

4. Cepilladora 1

Figura 68 Ficha técnica de máquina Cepilladora 1

FICHA TECNICA DEL EQUIPO

DATOS TECNICOS	
Modelo	GY-610S
N° Serie	1434
Marca	Extend Light Machinery
Nombre del equipo	Cepilladora
Función que realiza	Cepillado de pisos
Ubicación	Transformación Avanzada
Motor	7.4HP
Tensión	220V / 60Hz
País procedencia	Republica Popular China
DATOS DE CONDICION	
Estado del equipo	Operativo
Importancia critica	Critica
Año de fabricación	2000

Elaboración propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Figura 69: Vista de conjunto de máquina Cepilladora 1

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Tabla 66: Sistemas y Subsistemas de máquina Cepilladora 1

Cepilladora 1	
N°	Sistema
1	Mecanismo superior exterior
2	Mecanismo superior interior
3	Mecanismo de transmisión
4	Cabezal superior, placa delantera y trasera y campana extractora de polvo
5	Rodillos de alimentación superior
6	Bastidor de máquina
7	Mecanismo de elevación
8	Mesa trasera
9	Mesa delantera
10	Cabezal de corte inferior

Elaboración propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Paso 8: Identificación del contexto operacional de los equipos

El AMEF es una técnica que analiza los modos de falla de los componentes antes de que ocurra la falla, luego evalúa los efectos en el sistema o subsistema elegido. Las posibles fallas

son registradas en una tabla donde se visualiza sus efectos; para determinar su nivel de riesgo se evalúan de acuerdo con una serie de criterios, tales como gravedad (S), ocurrencia (O) y detectabilidad (D). Los resultados de la tabla permiten visualizar rápidamente cuáles son los efectos de cada modo de fallo, esta información se usa para corregir o prevenir esas fallas. En este sentido, el AMEF es una herramienta que se utiliza para identificar las fallas potenciales antes de ocurran con la finalidad de mejorar la confiabilidad de las máquinas críticas y aumenta su disponibilidad.⁹⁵

En este paso se van a identificar las variables significativas del proceso productivo de pisos machihembrados para poder determinar y establecer las acciones correctivas necesarias para la prevención de las fallas.

El análisis se realizará de forma sistemática para identificar y prevenir los modos de falla evaluando su gravedad, ocurrencia y detección. Posteriormente, se calculará el número de prioridad de riesgo (NPR) para priorizar las causas. La siguiente secuencia muestra la construcción del AMEF y en la figura 70 se detalla el esquema de este mismo:

Figura 70: Esquema para realizar el AMEF

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado de Barros y otros 2014: 201

Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF)

Después de seleccionar el subsistema y las máquinas más críticas, se elabora el AMEF para identificar los modos de falla más representativos de acuerdo al nivel de probabilidad de riesgo. Estos resultados se ingresan en el Minitab para realizar el diagrama de Pareto, de este se extraerá los modos de falla que estén dentro del 80%.

En las siguientes tablas se muestra el análisis del AMEF de las 4 máquinas más críticas detalladas en el paso 7.

Asimismo, en las gráficas de cada uno de los AMEF se muestran los diagramas de Pareto en donde se muestran los modos de fallas más relevantes, tomando en consideración el análisis de Nivel de Probabilidad de Riesgo (NPR)

⁹⁵ Cfr. Chen 2013: 5405

Desarrollo del AMEF de la Moldurera 1

Tabla 67: AMEF de Moldurera 1

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA					
		Área: Transformacion Avanzada			Fecha:		
		Equipo: Moldurera 1			Realizado por::		
					Revisado por:		
Fallas posibles			Actual				
Codigo	Modo potencial de falla	Efecto(s) potenciales de falla	Controles actuales	Índices			
				O	S	D	NPR
M1	Sistema de alimentador automático no esta operando correctamente, debido a desgaste de rueda de alimentación.	La alimentación se realiza atraves de un sistema alimentador automático, cuando la rueda de empuje tiene desgaste impide la correcta alimentación. Tiempo de reparación 45 min.	Ninguno	3	3	3	27
M2	No se puede calibrar altura de cabezales de corte, debido a falla de contador digital.	La falla del contador lineal impide que se pueda calibrar adecuadamente los cabezales de corte. Tiempo de reparación 45 min.	Ninguno	4	4	4	64
M3	El sistema de neumático no funciona adecuadamente, debido a falta de lubricación de unidad de mantenimiento.	Las piezas y parte del sistema neumático de la maquina se traban. Tiempo de reparación 60 min.	Ninguno	3	3	4	36
M4	No se puede maquinar el producto, debido a prensor de baquelita roto.	La baquelita de presión realiza la función de presionar adecuadamente la madera del cabezal # 05. Tiempo de reparación 60 min.	Ninguno	3	6	4	72
M5	Sistema de arrastre inferior no funciona de forma adecuada, debido a desgaste de rodamientos de rodillos de desplazamiento.	La operación de desplazamiento de materia prima (madera) se realiza a través de rodillos de arrastre. Cuando se dañan los rodamientos de los rodillos de arrastre inferior, no se puede generar el desplazamiento de la madera. Tiempo de reparación 120min.	Ninguno	8	8	9	576
M6	Herramientas de corte no maquina correctamente la madera, debido a defectos de afilado.	La operación de perfilado de madera se realiza mediante herramientas de corte que dan forma a la madera. Cuando las cuchillas están mal afiladas, el acabado es rugoso y con marcas. Tiempo de reparación 120min.	Ninguno	10	9	10	900
M7	Sistema de alimentador automático esta rozando con la mesa. Debido a perno suelto.	El perno suelto del eje central evita que el alimentador automático este en una posición adecuada. Tiempo de reparación 45 min.	Ninguno	4	3	3	36
M8	Mesa de ingreso trabada, debido a suciedad entre sus partes.	Mesa no se desliza adecuadamente y por ende no se puede calibrar. Tiempo de reparación 120 min.	Ninguno	3	3	4	36
M9	No ingresa suficiente presión de aire, debido a caída de presión de sistema neumático de planta.	La maquina necesita de aire para que sus sistemas de arrastre puedan funcionar de forma adecuada. A medida que la presión de aire baja se activa el sistema de seguridad que apaga la maquina. Tiempo de reparación 30min	Ninguno	9	9	10	810
M10	Sistema eléctrico no funciona adecuadamente, debido a mal funcionamiento de contactores.	La maquina opera mediante contactores eléctricos, cuando uno de ellos falla por desgaste en sus contactos no enciende el equipo. Tiempo de reparación 60min.	Ninguno	9	9	8	648

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado de González y otros 2017: 276

Tabla 68: AMEF de Moldurera 1 (Continuación)

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA					
		Área: Transformacion Avanzada			Fecha:		
		Equipo: Moldurera 1			Realizado por::		
					Revisado por:		
Fallas posibles			Actual				
Codigo	Modo potencial de falla	Efecto(s) potenciales de falla	Controles actuales	Índices			
				O	S	D	NPR
M11	Sistema eléctrico no funciona adecuadamente, debido a bloqueo de variador electrónico.	El equipo tiene un sistema de alerta que bloquea el variador electrónico cuando existe una caída de tensión. Tiempo de reparación 30min.	Ninguno	9	9	8	648
M12	Cabezal de corte # 01 no gira, debido a rotura de faja de transmisión.	Al estar rota la faja no se transmite movimiento entre el motor y el eje de corte del cabezal # 01. Tiempo de reparación 30 min.	Ninguno	3	3	3	27
M13	Sistema de iluminación no funciona correctamente, debido a luminaria fluorescente quemada	La inoperatividad de la luminaria fluorescente impide que no se tenga visibilidad y por ende no arranque la maquina. Tiempo de reparación 30 min.	Ninguno	5	3	4	60
M14	No se puede realizar la operación de maquinado, debido a que no enciende motor eléctrico de cabezal de corte.	El motor inoperativo impide el no funcionamiento de la maquina. Tiempo de reparación 120 min.	Ninguno	3	4	4	48
M15	No se puede rectificar filo de cabezales hidrocentrales, debido a falla de jointer	No se puede maquinar correctamente, ya que el jointer es un elemento que pule todas las cuchillas de corte a un solo radio. Tiempo de reparación 60 min.	Ninguno	3	3	4	36
M16	Rueda dentada de sistema de arrastre trabada, debido a desprendimiento de chaveta.	El rodillo del sistema de arrastre superior no puede girar adecuadamente. Tiempo de reparación 60 min.	Ninguno	4	3	4	48
M17	No se puede maquinar el producto, debido a mangueras rotas de sistema neumático.	La maquina posee un presostato que evita que la maquina funcione a menos de 6 bar de presión. Tiempo de reparación 60 min.	Ninguno	4	5	6	120
M18	El sistema de succión de aserrín pierde fuerza, debido a rotura de mangueras de succión.	Las roturas en la manguera ocasionan que se pierda fuerza de succión de aspiración. Tiempo de reparación 60 min.	Ninguno	3	4	3	36
M19	Sistema contador lineal no opera en condiciones normales de funcionamiento, debido a desgaste de ruedas de encoder	Las ruedas tienen la función de enviar señal al contador electrónico. Tiempo de reparación 180 min.	Ninguno	2	4	6	48
M20	Cabezales de corte se mueven, debido a manijas de ajuste rotas.	Al estar las manijas de sujeción sueltas, el cabezal de corte se mueve, ocasionando de esta manera que el producto tenga defectos de maquinado. Tiempo de reparación 120 min.	Ninguno	4	3	3	36

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado de González y otros 2017: 276

Tabla 69: AMEF de Moldurera 1 (Continuación)

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA					
		Área: Transformacion Avanzada			Fecha:		
		Equipo: Moldurera 1			Realizado por::		
					Revisado por:		
Fallas posibles			Actual				
Codigo	Modo potencial de falla	Efecto(s) potenciales de falla	Controles actuales	Índices			
				O	S	D	NPR
M21	Maquina no varia la velocidad de arrastre, debido a rotura de base de variador de velocidad mecánico.	El variador mecánico no puede transmitir movimiento al eje del sistema de elevación. Tiempo de reparación 120 min	Ninguno	3	4	3	36
M22	No se puede realizar el corte, debido a desalineamiento de faja de cabezal de corte	La faja desalineada impide que el movimiento rotacional entre el eje del motor y el cabezal de corte sea inadecuado. Tiempo de reparación 45 min.	Ninguno	3	4	3	36
M23	Sistema de elevación no funciona, debido a suciedad en los tornillos sinfín axiales y radiales	El tornillo patrón sucio no transmite movimiento al sistema de elevación. Tiempo de reparación 180 min.	Ninguno	3	4	3	36
M24	Existe demasiada suciedad en interior de maquina, debido a rotura de guarda de cabezal	Las partes de desplazamiento interno de la maquina se obstruyen con el aserrín. Tiempo de reparación 45 min.	Ninguno	3	3	3	27
M25	Maquina no enciende, debido a falla de botoneras de comando	Las borneras deteriorada en posición abierta impiden el flujo de corriente hacia la maquina. Tiempo de reparación 60 min.	Ninguno	4	3	4	48
M26	Producto con defectos de maquinado, debido a descalibracion de prensor de salida.	El prensor de salida evita que la madera tenga defectos de maquinado de tipo "olas". Al no estar calibrado en forma paralela con respecto a la mesa de maquinado impide que la madera se deslice adecuadamente. Tiempo de reparación 45 min.	Ninguno	3	3	4	36
M27	No se puede maquinar producto, debido a sobrecalentamiento de motor eléctrico #02	El motor sobrecalentado impide el no funcionamiento de la maquina. Tiempo de reparación 120 min.	Ninguno	3	2	4	24
M28	Sistema alimentador no opera en condiciones normales de funcionamiento, debido a falla de válvula neumática de 3/2 vías - RW/O-3-1/8 con cabezal de accionamiento tipo rodillo	Válvula deteriorada en todas sus posiciones impide que se mande señal de accionamiento al tablero de mando neumático. Tiempo de reparación 60 min.	Ninguno	4	2	4	32
M29	Husillo de cabezal # 08 trabado, debido a suciedad en los tornillos de elevación	El tornillo patrón sucio no transmite movimiento al sistema de elevación. Tiempo de reparación 180 min.	Ninguno	4	2	2	16
M30	Producto con defectos de maquinado, debido a descalibracion de mesa acanalada	La madera no se desliza adecuadamente (se atora). Tiempo de reparación 120 min.	Ninguno	2	4	4	32

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado de González y otros 2017: 276

Tabla 70: AMEF de Moldurera 1 (Continuación)

BOZOVICH tu fuente responsable de madera		ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA					
		Área: Transformacion Avanzada			Fecha:		
		Equipo: Moldurera 1			Realizado por::		
					Revisado por:		
Fallas posibles			Actual				
Codigo	Modo potencial de falla	Efecto(s) potenciales de falla	Controles actuales	Índices			
				O	S	D	NPR
M31	Excesiva vibración de la maquina, debido al desgaste de los rodamientos de los ejes de cabezales de corte	Cuando el eje llega a girar a 8000rpm se hace mas notorio el desgaste de los rodamientos. Es probable que se escuche internamente roces. Tiempo de reparación 180min.	Ninguno	8	9	8	576
M32	Producto con defectos de maquinado, debido a desgaste de rodillos de goma.	La madera no se desliza adecuadamente (se atora). Tiempo de reparación 180 min.	Ninguno	2	3	3	18
M33	Producto con defectos de maquinado, debido a desgaste de prensor de entrada	La madera se atasca en la entrada de la maquina. Tiempo de reparación 120 min.	Ninguno	2	4	3	24
M34	Maquina no puede arrancar, debido a desprendimiento de guarda de seguridad de husillo N°04	La guarda de seguridad rota impide el no funcionamiento de la maquina. Tiempo de reparación 120 min.	Ninguno	2	3	3	18
M35	No se puede maquinar producto, debido a correa plana de transmisión de cabezal # 03 sin tensión adecuada.	Al estar suelta la faja no se transmite movimiento entre el motor y el eje de corte del cabezal # 03. Tiempo de reparación 30 min.	Ninguno	2	3	4	24
M36	Producto con defectos de maquinado, debido a descalibracion de péndulo de presión	Los péndulos con inadecuada presión no posicionan correctamente la madera sobre la mesa de trabajo. Tiempo de reparación 120 min.	Ninguno	2	1	2	4
M37	Sistema de neumático no opera en condiciones normales de funcionamiento, debido falla de estrangulador de aire en posición cerrada.	Al no tener suficiente presión de aire, la maquina activa su sistema de seguridad que impide que esta funcione. Tiempo de reparación 60 min.	Ninguno	2	1	2	4
M38	Sistema de arrastre no funciona en condiciones normales de funcionamiento, debido a desgaste de rodillos de presión.	La operación de arrastre se realiza mediante rodillos dentados de presión, generando el movimiento de desplazamiento. Al no tener tracción la rueda de arrastre, la madera no se desplaza sobre la mesa de la maquinado Tiempo de reparación 60 min.	Ninguno	9	8	9	648
M39	Alimentador automático no funciona adecuadamente, debido a rotura de perno de rueda de alimentadora.	La alimentación de la materia prima (madera) se realiza de forma automatizada. Debido a la rotura del perno, la rueda no tiene un punto fijo de posicionamiento. Tiempo de reparación 45min	Ninguno	9	8	9	648

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado de González y otros 2017: 276

Gráfico 24: Priorización de los modos de falla Moldurera

Fuente: Elaboración propia 2017

Desarrollo del AMEF de la Retestadora

Tabla 71: AMEF de Retestadora

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA						
		Área: Transformacion Avanzada			Fecha:			
		Equipo: Retestadora			Realizado por::			
					Revisado por:			
Fallas posibles			Actual					
Codigo	Modo potencial de falla	Efecto(s) potenciales de falla	Controles actuales	Índices				
				O	S	D	NPR	
R1	Sistema de arrastre de maquina no funciona de forma adecuada, debido a rotura de faja de transmisión de rodillos de transporte	La operación de transporte de materia prima (madera) se realiza a través de rodillos. Cuando se rompe la faja de transmisión del motor hacia los rodillos de arrastre no se puede generar el movimiento de arrastre de los rodillos. Tiempo de reparación 120min.	Ninguno	7	7	9	441	
R2	Sistema de transporte de madera no funciona en condiciones normales de funcionamiento, debido a rotura de encoder	La operación de transporte de materia prima(madera) se realiza mediante una cadena de arrastre, generando el movimiento de desplazamiento. Al no funcionar el encoder rueda de arrastre, la madera no se desplaza sobre la mesa de la maquinado Tiempo de reparación 120min.	Ninguno	7	7	8	392	
R3	Banda transportadora de salida de producto no opera en condiciones normales de funcionamiento, debido a rotura	La operación de salida de producto se realiza mediante una banda transportadora. Al estar inoperativa esta no se produce la operación descrita. Tiempo de reparación 240 min.	Ninguno	2	3	2	12	
R4	Unidad de mantenimiento no funciona en condiciones normales de funcionamiento.	Las partes y piezas neumaticas comienzan a obstruirse. Tiempo de reparacion 180 min.	Ninguno	4	2	3	24	
R5	Motoreductor no funciona en condiciones normales de funcionamiento, debido a falta de aceite.	Debido a la no lubricación adecuada, las partes internas de la caja reductora se sobrecalentan ocasionando que se traben el eje. Tiempo de reparación 480 min.	Ninguno	2	3	2	12	
R6	Sistema eléctrico no funciona adecuadamente, debido a mal funcionamiento de contactores.	La maquina opera mediante contactores eléctricos, cuando uno de ellos falla por desgaste en sus contactos no enciende el equipo. Tiempo de reparación 30 min.	Ninguno	3	2	3	18	
R7	Sistema neumatico no opera adecuadamente, debido a falta de aceite en unidad de mantenimiento.	El cilindro de presion de producto hacia el brazo transportador se atasca. Tiempo de reparacion 45 min.	Ninguno	2	2	3	12	
R8	Maquina no opera con 39 brazos transportadores, debido a rotura de pernos de su base.	Los pernos rotos impiden que se posicionen adecuadamente la base de los brazos transportadores, de esta forma los produc	Ninguno	4	2	3	24	
R9	Sistema de arrastre no funciona en condiciones normales de funcionamiento, debido a desgaste de rodillos de transporte	La operación de desplazamiento de piso de machihembrado se realiza mediante rodillos de goma. Cuando se desgasta el recubrimiento del rodillo pierde tracción y por ende el producto no se desplaza sobre la mesa de la maquinado Tiempo de reparación 240min.	Ninguno	7	7	8	392	
R10	Sistema de detección de madera no funciona adecuadamente, debido a falla de fotocelda	Es necesario que la fotocelda envíe señal de detección de madera para que pueda haber sincronización del encoder con las herramientas de maquinado. Tiempo de reparación 30min.	Ninguno	7	7	6	294	

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado de González y otros 2017: 276

Tabla 72: AMEF de Retestadora (continuación)

BOZOVICH tu fuente responsable de madera		ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA						
		Área: Transformacion Avanzada			Fecha:			
		Equipo: Retestadora			Realizado por::			
					Revisado por:			
Fallas posibles				Actual				
Codigo	Modo potencial de falla	Efecto(s) potenciales de falla	Controles actuales	Índices				
				O	S	D	NPR	
R11	Sierra circular no corta adecuadamente, debido a defectos de afilado.	La operación de corte de madera se realiza mediante 4 husillos de corte y 4 sierras circulares, cuando estas herramientas de corte esta mal afilada no se maquina adecuadamente el perfil de macho y hembra respectivamente, dejando marcas y rompiendo la materia prima. Tiempo de reparación 60min.	Ninguno	7	6	6	252	
R12	Cabezal de corte de pre hembra con excesiva vibración, debido a desgaste de rodamientos	Debido a la no lubricación adecuada, el rodamiento comienza a sobrecalentarse ocasionando que se trabee el eje. Tiempo de reparación 240 min.	Ninguno	3	3	2	18	
R13	Maquina no enciende, debido a motor electrico quemado de cabezal derecho macho.	Al no estar operativo el motor, la maquina no puede encender. Tiempo de reparacion 180 min.	Ninguno	3	2	2	12	
R14	Existe demasiada suciedad en interior de maquina, debido a rotura de guarda de cabezal	Las partes de desplazamiento interno de la maquina se obstruyen con el aserrín. Tiempo de reparación 60 min.	Ninguno	3	2	3	18	
R15	No se puede maquinar prodcto, debido a desgaste de rueda de empuje	La rueda de goma de empuje deriva el producto hacia los cabezales de maquinado. Tiempo de reparacion 200 min.	Ninguno	3	3	4	36	
R16	Sistema de transporte no opera adecuadamente, debido a torcedura de brazos transportadores.	Los brazos transportadores rozan con los rodillos de arrastre, ocasionando que se atoren. Tiempo de reparacion 120 min.	Ninguno	4	3	4	48	
R17	Maquina no enciende, debido a falso contacto de terminales de encendido	Los sistemas electricos inoperativos impiden que se permita el flujo de corriente electrica hacia la máquina. Tiempo de reparacion 60 min.	Ninguno	4	3	4	48	
R18	Banda transportadora de alimentación de materia prima no opera en condiciones normales de funcionamiento, debido a rotura	La operación de alimentación de materia prima se realiza mediante una banda transportadora. Al estar inoperativa esta no se produce la operación descrita. Tiempo de reparación 300 min.	Ninguno	4	3	4	48	
R19	Sistema de arrastre no opera en condiciones normales de funcionamiento, debido a desgaste de topes de nylom.	Los brazos transportadores no se deslizan adecuadamente sobre la máquina. Tiempo de reparacion 120 min.	Ninguno	3	4	4	48	
R20	Maquina no enciende, debido a falla de pulsadores de emergencia en posicion cerrada.	Al no hacer contacto los terminales del pulsador de emergencia, no se energiza la máquina. Tiempo de reparacion 120 min.	Ninguno	3	4	3	36	

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado de González y otros 2017: 276

Tabla 73: AMEF de Retestadora (continuación)

BOZOVICH tu fuente responsable de madera		ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA					
		Área: Transformacion Avanzada			Fecha:		
		Equipo: Retestadora			Realizado por::		
					Revisado por:		
Fallas posibles				Actual			
Codigo	Modo potencial de falla	Efecto(s) potenciales de falla	Controles actuales	Índices			
				O	S	D	NPR
R21	Excesiva vibración de la maquina, debido al desgaste de los rodamientos de los ejes de cabezales de corte	Cuando el eje llega a girar a 6000rpm se hace mas notorio el desgaste de los rodamientos. Es probable que se escuche internamente roces. Tiempo de reparación 240min.	Ninguno	7	8	6	336
R22	Sistema eléctrico no funciona adecuadamente, debido a falla de motor eléctrico de cabezal de corte	El equipo tiene un sistema de protección que se activa cuando existe un sobrecalentamiento de motor eléctrico. Tiempo de reparación 120min.	Ninguno	7	7	8	392
R23	Sistema eléctrico no funciona adecuadamente, debido a falla de PLC	La maquina es comandada por un PLC, que es quien controla los sistemas mecánicos, eléctricos, electrónicos y neumáticos. Cuando este equipo se desconfigura por mala manipulación o sobrecalentamiento evita que se encienda la maquina. Tiempo de reparación 240min.	Ninguno	7	6	6	252
R24	No ingresa suficiente presión de aire, debido a caída de presión de sistema neumático de planta.	La maquina necesita de aire para que sus sistemas neumáticos (cilindros, electroválvulas, etc.) puedan funcionar de forma adecuada. A medida que la presión de aire baja se activa el sistema de seguridad que apaga la maquina. Tiempo de reparación 30min	Ninguno	7	8	6	336
R25	Sistema de arrastre no opera en condiciones normales de funcionamiento, debido a que cadena de arrastre no esta tensada adecuadamente	Al estar sin la tension adecuada, los empujadores de atorán en el riel de desplazamiento.	Ninguno	2	2	3	12
R26	Cabezal de corte inferior pre hembra con excesiva vibración, debido a desgaste de rodamientos	Debido a la no lubricación adecuada, el rodamiento comienza a sobrecalentarse ocasionando que se trabe el eje. Tiempo de reparación 480 min.	Ninguno	2	2	3	12
R27	Sistema eléctrico no funciona adecuadamente, debido a mal funcionamiento de contactores.	La maquina opera mediante contactores eléctricos, cuando uno de ellos falla por desgaste en sus contactos no enciende el equipo. Tiempo de reparación 60min.	Ninguno	7	7	7	343

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado de González y otros 2017: 276

Tabla 74: AMEF de Retestadora (continuación)

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA						
			Área: Transformacion Avanzada				Fecha:		
			Equipo: Retestadora				Realizado por::		
							Revisado por:		
Fallas posibles					Actual				
Codigo	Modo potencial de falla	Efecto(s) potenciales de falla	Controles actuales	Índices					
				O	S	D	NPR		
R28	Sistema eléctrico no funciona adecuadamente, debido a bloqueo de variador electrónico.	El equipo tiene un sistema de alerta que bloquea el variador electrónico cuando existe una caída de tensión. Tiempo de reparación 30min.	Ninguno	7	7	6	294		
R29	Rotura de base de cilindro neumático de rodillo empujador de goma, debido a excesiva vibración.	Al tener demasiada vibración el motor de la sierra circular fisura la base del cilindro neumático. Tiempo de reparación 240 min.	Ninguno	2	2	3	12		
R30	Maquina no enciende, debido a desalineamiento de sensores de escuadras	Los sensores que activacion inductiva en poscicion cerrada no se activan. Tiempo de reparacion 45 min.	Ninguno	3	2	3	18		
R31	Sistema de transporte de madera no funciona en condiciones normales de funcionamiento, debido a descalibracion de posicionadores de madera	Para la operación de maquinado la materia prima(madera) debe de apoyarse sobre posicionadores de maquinado. Cuando se mueven estos posicionadores, el maquinado resulta erróneo (no sale escuadra).Tiempo de calibración de 39 escuadras 320min.	Ninguno	7	7	8	392		
R32	Sistema de caída de madera no funciona en condiciones normales de funcionamiento, debido a rotura de flejes empujadores	La operación de caída de piso machihembrado se realiza mediante unos flejes empujadores. Cuando estos se rompen impiden que el piso caiga de manera adecuada fuera de la maquina. Tiempo de reparación 120min.	Ninguno	7	8	8	448		

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado de González y otros 2017: 276

Gráfico 25: Priorización de los modos de falla de la Retestadora

Fuente: Elaboración propia 2017

Desarrollo del AMEF de la Optimizadora

Tabla 75: AMEF de la Optimizadora

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA				
			Área: Transformacion Avanzada			Fecha:	
			Equipo:Optimizadora			Realizado por::	
						Revisado por:	
Fallas posibles			Actual				
Codigo	Modo potencial de falla	Efecto(s) potenciales de falla	Controles actuales	Índices			
				O	S	D	NPR
O1	Sistema de arrastre inferior no funciona de forma adecuada, debido a rotura de banda transportadora de ingreso.	La operación de alimentación de materia prima (madera) se realiza a través de una banda transportadora de ingreso. Cuando se rompe la banda transportadora de ingreso, no se puede generar la alimentación de madera. Tiempo de reparación 120min.	Ninguno	5	6	5	150
O2	Cabezal de corte no gira, debido a rotura de faja de transmisión.	Al estar rota la faja no se transmite movimiento entre el motor y el eje de corte de la sierra circular. Tiempo de reparación 30 min	Ninguno	3	4	8	96
O3	Banda transportadora de alimentación de materia prima no opera en condiciones normales de funcionamiento, debido a rotura	La operación de alimentación de materia prima se realiza mediante una banda transportadora. Al estar inoperativa esta no se produce la operación descrita. Tiempo de reparación 300 min.	Ninguno	3	4	7	84
O4	Sistema de arrastre no funciona en condiciones normales de funcionamiento, debido a desgaste de rodillos de presión.	La operación de arrastre se realiza mediante rodillos dentados de presión, generando el movimiento de desplazamiento. Al no tener tracción la rueda de arrastre, la madera no se desplaza sobre la mesa de la maquinado Tiempo de reparación 120min.	Ninguno	4	7	5	140
O5	Banda transportadora de salida de producto no opera en condiciones normales de funcionamiento, debido a rotura	La operación de salida de producto se realiza mediante una banda transportadora. Al estar inoperativa esta no se produce la operación descrita. Tiempo de reparación 300 min.	Ninguno	3	3	4	36
O6	Sistema alimentador no opera en condiciones normales de funcionamiento, debido a falla de válvula neumática en posición cerrada.	Válvula deteriorada en todas sus posiciones impide que se mande señal de accionamiento al tablero de mando neumático. Tiempo de reparación 60 min.	Ninguno	3	4	3	36
O7	Guías de salida de sierra circular no se encuentra en condiciones normales de funcionamiento, debido a desgaste.	Las guías evitar que la sierra circular sufra pandeo. Tiempo de reparación 45 min.	Ninguno	3	3	5	45
O8	Sistema de detección de madera no funciona adecuadamente, debido a falla de fotocelda	Es necesario que la fotocelda envíe señal de detección de madera para que pueda haber sincronización de la banda transportadora de ingreso con el sistema de corte. Tiempo de reparación 30min.	Ninguno	4	5	6	120
O9	El sistema de enfriamiento del tablero eléctrico presenta fallas, debido a filtros de succión con suciedad	Los filtros sucios evitan que no se tenga la adecuada circulación de aire dentro del tablero eléctrico, ocasionado que ciertos componentes se sobrecalienten. Tiempo de reparación. 30 min.	Ninguno	2	3	2	12
O10	Sierra circular no corta adecuadamente, debido a defectos de afilado.	La operación de corte de madera se realiza mediante una sierra circular, cuando esta herramienta de corte esta mal afilada no troza adecuadamente la madera, dejando marcas y rompiendo la materia prima. Tiempo de reparación 120min.	Ninguno	7	7	7	343

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado de González y otros 2017: 276

Tabla 76: AMEF de la Optimizadora (continuación)

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA						
		Área: Transformacion Avanzada			Fecha:			
		Equipo:Optimizadora			Realizado por::			
					Revisado por:			
Fallas posibles			Actual					
Codigo	Modo potencial de falla	Efecto(s) potenciales de falla	Controles actuales	Índices				
				O	S	D	NPR	
O11	Excesiva vibración de la maquina, debido al desgaste de los rodamientos de los ejes de cabezales de corte	Cuando el eje llega a girar a 6000rpm se hace mas notorio el desgaste de los rodamientos. Es probable que se escuche internamente roces. Tiempo de reparación 120min.	Ninguno	6	5	6	180	
O12	Sistema de alimentación no funciona, debido a rotura de piñón de cadena	El piñón sirve para transmitir movimiento de la caja reductora hacia los rodillos liso de arrastre. Cuando el piñón tiene algún desperfecto se deja de transmitir movimiento. Tiempo de reparación 120 min.	Ninguno	2	2	5	20	
O13	Sistema de arrastre no funciona en condiciones normales de funcionamiento, debido a desgaste de rodillos dentados de presión.	La operación de arrastre se realiza mediante rodillos dentados de presión, generando el movimiento de desplazamiento. Al no tener tracción la rueda de arrastre, la madera no se desplaza sobre la mesa de la maquinado Tiempo de reparación 240 min.	Ninguno	2	2	3	12	
O14	Sistema eléctrico no funciona adecuadamente, debido a falla de motor eléctrico de banda transportadora de desperdicios	El equipo tiene un sistema de protección que se activa cuando existe un sobrecalentamiento de motor eléctrico. Tiempo de reparación 120min.	Ninguno	5	7	8	280	
O15	Sistema eléctrico no funciona adecuadamente, debido a falla de servomotor de banda transportadora de ingreso.	El movimiento de ingreso de la banda transportadora se da mediante un servomotor, cuando existe un problema con este se activa un sistema de protección que evita que se encienda la maquina. Tiempo de reparación 60min.	Ninguno	3	7	8	168	
O16	Banda transportadora de desperdicios no opera adecuadamente, debido a rotura de faja de transmisión.	Al estar rota la faja no se transmite movimiento entre el motor y la banda transportadora de desperdicios. Tiempo de reparación 60 min	Ninguno	2	2	3	12	
O17	Sistema de elevación no funciona, debido a suciedad en los tornillos sinfín axiales y radiales	El tornillo patrón sucio no transmite movimiento al sistema de elevación. Tiempo de reparación 30 min.	Ninguno	1	3	2	6	
O18	Rotura de base de cilindro neumático de sierra circular, debido a excesiva vibración.	Al tener demasiada vibración el motor de la sierra circular fisura la base del cilindro neumático. Tiempo de reparación 360 min.	Ninguno	2	2	2	8	
O19	No ingresa suficiente presión de aire, debido a caída de presión de sistema neumático de planta.	La maquina necesita de aire para que sus sistemas de arrastre puedan funcionar de forma adecuada. A medida que la presión de aire baja se activa el sistema de seguridad que apaga la maquina. Tiempo de reparación 30min	Ninguno	5	6	7	210	
O20	Sistema eléctrico no funciona adecuadamente, debido a mal funcionamiento de contactores.	La maquina opera mediante contactores eléctricos, cuando uno de ellos falla por desgaste en sus contactos no enciende el equipo. Tiempo de reparación 60min.	Ninguno	6	6	6	216	
O21	Sistema eléctrico no funciona adecuadamente, debido a bloqueo de variador electrónico.	El equipo tiene un sistema de alerta que bloquea el variador electrónico cuando existe una caída de tensión. Tiempo de reparación 30min.	Ninguno	3	6	5	90	

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado de González y otros 2017: 276

Gráfico 26: Priorización de los modos de falla de la Optimizadora

Fuente: Elaboración propia 2017

Desarrollo del AMEF de la Cepilladora

Tabla 77: AMEF de la Cepilladora

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA					
		Área: Transformacion Avanzada			Fecha:		
		Equipo: Cepilladora 1			Realizado por::		
					Revisado por:		
Fallas posibles				Actual			
Codigo	Modo potencial de falla	Efecto(s) potenciales de falla	Controles actuales	Índices			
				O	S	D	NPR
C1	Sistema eléctrico no funciona adecuadamente, debido a mal funcionamiento de contactores.	La maquina opera mediante contactores eléctricos, cuando uno de ellos falla por desgaste en sus contactos no enciende el equipo. Tiempo de reparación 30 min.	Ninguno	5	6	8	240
C2	Sistema eléctrico no funciona adecuadamente, debido a bloqueo de variador electrónico.	El equipo tiene un sistema de alerta que bloquea el variador electrónico cuando existe una caída de tensión. Tiempo de reparación 30min.	Ninguno	9	6	6	324
C3	El sistema de lubricación no esta lubricando la mesa de ingreso, debido a obstrucción de ductos de pulverizado.	Al no tener lubricación la madera no se desliza adecuadamente sobre la maquina. Tiempo de reparación 90 min.	Ninguno	5	5	1	25
C4	El sistema de enfriamiento del tablero eléctrico presenta fallas, debido a filtros de succión con suciedad	Los filtros sucios evitan que no se tenga la adecuada circulación de aire dentro del tablero eléctrico, ocasionado que ciertos componentes se sobrecalienten. Tiempo de reparación. 30 min.	Ninguno	5	5	3	75
C5	La madera no se desliza adecuadamente sobre mesa de trabajo, debido a lubricante con impurezas	Las impurezas (polvo, aserrín, astillas, etc.) que ingresan al sistema de lubricación evitan la madera no se deslice adecuadamente. Tiempo de reparación 45 min.	Ninguno	5	5	4	100
C6	El sistema de succión de aserrín pierde fuerza, debido a rotura de mangueras de succión.	Las roturas en la manguera ocasionan que se pierda fuerza de succión de aspiración. Tiempo de reparación 60 min.	Ninguno	5	5	3	75
C7	Sistema de arrastre no funciona en condiciones normales de funcionamiento, debido a desgaste de rodillos dentados de presión.	La operación de arrastre se realiza mediante rodillos dentados de presión, generando el movimiento de desplazamiento. Al no tener tracción la rueda de arrastre, la madera no se desplaza sobre la mesa de la maquinado Tiempo de reparación 300 min.	Ninguno	8	8	7	448
C8	Sistema de transporte de madera no funciona en condiciones normales de funcionamiento, debido a rotura de encoder	La operación de perfilado liso superior e inferior se realiza mediante cabezales de corte. Cuando se rompe la faja de transmisión no se genera el movimiento de corte de los cabezales de perfilado. Tiempo de reparación 60 min.	Ninguno	7	7	8	392
C9	Sistema de succión de aserrín no funciona en condiciones normales de funcionamiento, debido a atasco de residuos en ducto	La operación de succión se hace mediante ductos de aspiración. Cuando estos se obstruyen no se tiene la suficiente fuerza de aspiración de residuos de aserrín. Tiempo de reparación 45 min.	Ninguno	7	7	8	392
C10	Sistema de elevación de estructura no funciona en condiciones normales de funcionamiento, debido a desgaste de tornillo patrón de moto reductor.	La operación de elevación de estructura se genera mediante un tornillo patrón y uno moto reductor. Al no tener "hilos" el tornillo patrón no puede generar la transmisión hacia piñones dentados. Tiempo de reparación 120min.	Ninguno	7	7	6	294

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado de González y otros 2017: 276

Tabla 78: AMEF de la Cepilladora (continuación)

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA						
		Área: Transformacion Avanzada				Fecha:		
		Equipo: Cepilladora 1				Realizado por::		
						Revisado por:		
Fallas posibles					Actual			
Codigo	Modo potencial de falla	Efecto(s) potenciales de falla	Controles actuales	Índices				
				O	S	D	NPR	
C11	Rodillo liso de ingreso inoperativo, debido a rotura de rodamientos	Debido a la no lubricación adecuada, el rodamiento comienza a sobrecalentarse ocasionando que se trabe el eje. Tiempo de reparación 120 min.	Ninguno	5	5	3	75	
C12	Producto presenta defectos acabado, debido a desgaste de mesa de salida.	La madera no se asienta bien en la mesa de trabajo ocasionando que el maquinado sea desperfecto. Tiempo de reparación 480 min.	Ninguno	5	5	2	50	
C13	El sistema de arranque no esta en condiciones normales de funcionamiento, debido pulsador de emergencia deteriorado	La maquina no puede funcionar, debido a que el pulsador impide que se energice el sistema eléctrico. Tiempo de reparación 60 min.	Ninguno	5	5	2	50	
C14	La regla de canto de ingreso se encuentra desalineado, debido a excesiva vibración de la maquina.	Al tener excesiva vibración las piezas y partes, que no están bien sujetas, de la gufa de ingreso comienzan a moverse. Tiempo de reparación 120 min.	Ninguno	5	5	2	50	
C15	La cola de milano de la mesa de ingreso se encuentra con grietas, debido a impactos de madera.	Las grietas ocasionan rotura de la cola de milano, ocasionado que se pierda precisión de las piezas que ingresan. Tiempo de reparación 480 min.	Ninguno	5	5	4	100	
C16	Excesiva vibración de la maquina, debido al desgaste de los rodamientos de los ejes de cabezales de corte	Cuando el eje llega a girar a 8000rpm se hace mas notorio el desgaste de los rodamientos. Es probable que se escuche internamente roces. Tiempo de reparación 360 min.	Ninguno	7	7	8	392	
C17	Faja de transmisión de cabezal superior con rotura, debido a desgaste de flancos de polea	Esta faja sirve para transmitir movimiento del motor superior al cabezal superior de corte. Cuando se rompe esta faja no se transmite movimiento. Tiempo de reparación 45 min.	Ninguno	5	5	2	50	
C18	Rotura de base de motor de cabezal superior, debido a excesiva vibración.	Al tener demasiada vibración el motor las "patas" se fisuran para posteriormente romperse. Tiempo de reparación 360 min.	Ninguno	5	5	2	50	
C19	Cabezal de corte inferior con excesiva vibración, debido a desgaste de rodamientos	Debido a la no lubricación adecuada, el rodamiento comienza a sobrecalentarse ocasionando que se trabe el eje. Tiempo de reparación 480 min.	Ninguno	5	5	3	75	
C20	Sistema de alimentación no funciona, debido a rotura de piñón de cadena	El piñón sirve para transmitir movimiento de la caja reductora hacia los rodillos liso de arrastre. Cuando el piñón tiene algún desperfecto se deja de transmitir movimiento. Tiempo de reparación 240 min.	Ninguno	5	5	3	75	

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado de González y otros 2017: 276

Tabla 79: AMEF de la Cepilladora (continuación)

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA						
		Área: Transformacion Avanzada				Fecha:		
		Equipo: Cepilladora 1				Realizado por::		
						Revisado por:		
Fallas posibles				Actual				
Codigo	Modo potencial de falla	Efecto(s) potenciales de falla	Controles actuales	Índices				
				O	S	D	NPR	
C21	Sistema de arrastre no funciona en condiciones normales de funcionamiento, debido a desgaste de rodillos lisos de presión superior e inferior.	La operación de desplazamiento de tabloncillos de madera se realiza mediante rodillos lisos de presión superior e inferior. Cuando se desgastan impiden que la madera se deslice adecuadamente sobre la mesa de maquinado. Tiempo de reparación 360 min.	Ninguno	7	8	7	392	
C22	Sistema de corte superior e inferior no funciona adecuadamente, debido a rotura de faja de transmisión de motor a cabezal de corte	Es necesario que la fotocelda envíe señal de detección de madera para que pueda haber sincronización del encoder con las herramientas de maquinado. Tiempo de reparación 30min.	Ninguno	7	6	8	336	
C23	Rotura de cadena transportadora de ingreso, debido a eslabón roto.	El eslabón forma parte de la cadena de arrastre. Cuando este se rompe, se deja de transmitir movimiento de los piñones hacia los rodillos lisos transportadores de madera. Tiempo de reparación 180 min.	Ninguno	5	5	2	50	
C24	Prensor de salida de producto se encuentra con grietas en el centro, debido a rotura de resortes de presión.	Los resortes tienen la función de amortiguar los golpes que recibe del prensor presión. Al estar rotos los resortes, el prensor recibe directamente los golpes de la madera. Tiempo de relación 120 min.	Ninguno	5	5	2	50	
C25	Cabezal helicoidal de corte no maquina adecuadamente, debido a defectos de afilado.	La operación de maquinado liso se realiza mediante 2 cabezales de corte superior e inferior respectivamente, cuando estas herramientas (cuchillas) de corte esta "quiñadas" o mal afilada no se maquina adecuadamente, dejando marcas y rompiendo la materia prima. Tiempo de reparación 45 min.	Ninguno	7	8	9	504	
C26	Sistema eléctrico no funciona adecuadamente, debido a falla de motores eléctricos de cabezales helicoidal superior e inferior.	El equipo tiene un sistema de protección que se activa cuando existe un sobrecalentamiento de motor eléctrico. Tiempo de reparación 120min.	Ninguno	7	8	6	336	
C27	Rotura de cadena de ingreso, debido a falta de lubricación	La operación de arrastre se realiza mediante rodillos lisos de ingreso. Al no estar lubricada la cadena de arrastre, la madera no ingresa a la maquina.Tiempo de reparación 240 min.	Ninguno	5	5	2	50	
C28	Rotura de perno de sujeción superior, debido a impacto de madera mal calibrada	Este perno sujeta el prensor de madera que evita que el producto tenga defectos de maquinado. Tiempo de reparación 45 min.	Ninguno	5	5	1	25	
C29	Guías conductoras de madera que se encuentran en la mesa de trabajo se encuentra desalineado, debido a rotura de pernos de sujeción	Los pernos sujetan las guías laterales que evitan que la madera sobresalgan fuera de la maquina. Tiempo de reparación 120 min.	Ninguno	5	5	3	75	

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado de González y otros 2017: 276

Gráfico 27: Priorización de los modos de falla de la Cepilladora

Fuente: Elaboración propia 2017

Aplicación de hoja de Información y hoja de decisión RCM

Después de haber priorizado los modos de falla en el diagrama de Pareto, se procede hacer la hoja de información a cada una de las máquinas críticas del sistema de producción (transformación avanzada).

En la hoja de decisión se muestra los modos de falla que se van a tratar y porque se han seleccionado. La información de esta hoja es vital para la toma de decisiones si en algún momento se quiere cambiar cualquier tarea de mantenimiento. La hoja de decisión ha sido desarrollada para cada una de las máquinas críticas del sistema de producción (transformación avanzada).

Tabla 80: Hoja de información RCM de Moldurera 1

HOJA DE INFORMACION RCM		SISTEMA/ACTIVO: Línea Maquinado 1		SISTEMA N°: Producción		FECHA: Abril 2017	Empresa: Maderera Bozovich S.A.C.
		SUB-SISTEMA/COMPONENTE: Moldurera 1		SUB-SISTEMA N°: Transformación Avanzada			
FUNCION		FALLA FUNCIONAL		N°	MODO DE FALLA (Causa de falla)	CODIGO	EFFECTOS DE FALLA (Que sucede cuando falla)
1	Maquinar adecuadamente las 4 caras de la madera de piso machihembrado de 3/4" x 5" a una velocidad de 38ml/m.	A	Incapaz de maquinar la madera a 38ml/min	1	Sistema de arrastre no funciona en condiciones normales de funcionamiento, debido a desgaste de rodillos de presión.	1A1	La operación de arrastre se realiza mediante rodillos dentados de presión, generando el movimiento de desplazamiento. Al no tener tracción la rueda de arrastre, la madera no se desplaza sobre la mesa de la maquinado. Tiempo de reparación 60 min.
				2	Alimentador automático no funciona adecuadamente, debido a rotura de pemo de rueda de alimentadora.	1A2	La alimentación de la materia prima (madera) se realiza de forma automatizada. Debido a la rotura del pemo, la rueda no tiene un punto fijo de posicionamiento. Tiempo de reparación 45min
				3	Sistema de arrastre inferior no funciona de forma adecuada, debido a desgaste de rodamientos de rodillos de desplazamiento.	1A3	La operación de desplazamiento de materia prima (madera) se realiza a través de rodillos de arrastre. Cuando se dañan los rodamientos de los rodillos de arrastre inferior, no se puede generar el desplazamiento de la madera. Tiempo de reparación 120min.
		B	Incapaz de maquinar adecuadamente las 4 caras del piso del machihembrado de 3/4"x5" de madera	1	Herramientas de corte no maquina correctamente la madera, debido a defectos de afilado.	1B1	La operación de perfilado de madera se realiza mediante herramientas de corte que dan forma a la madera. Cuando las cuchillas están mal afiladas, el acabado es rugoso y con marcas. Tiempo de reparación 120min.
				2	Excesiva vibración de la maquina, debido al desgaste de los rodamientos de los ejes de cabezales de corte	1B2	Cuando el eje llega a girar a 8000rpm se hace mas notorio el desgaste de los rodamientos. Es probable que se escuche internamente roces. Tiempo de reparación 180min.
		C	Maquina no enciende	1	No ingresa suficiente presión de aire, debido a caída de presión de sistema neumático de planta.	1C1	La maquina necesita de aire para que sus sistemas de arrastre puedan funcionar de forma adecuada. A medida que la presión de aire baja se activa el sistema de seguridad que apaga la maquina. Tiempo de reparación 30min
	2			Sistema eléctrico no funciona adecuadamente, debido a mal funcionamiento de contactores.	1C2	La maquina opera mediante contactores eléctricos, cuando uno de ellos falla por desgaste en sus contactos no enciende el equipo. Tiempo de reparación 60min.	
	3			Sistema eléctrico no funciona adecuadamente, debido a bloqueo de variador electrónico.	1C3	El equipo tiene un sistema de alerta que bloquea el variador electrónico cuando existe una caída de tensión. Tiempo de reparación 30min.	

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado Barros y otros 2014:205

Tabla 81: Hoja de decisión RCM de máquina Moldurera 1

HOJA DE DECISION RCM			ACTIVO:						SISTEMA N°: Transformación Avanzada						FECHA: Abril 2017		Empresa: Maderera Bozovich S.A.C.		
			Moldurera 1						SUB-SISTEMA N°: Línea Maquinado 1										
Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"				Tarea propuesta		Frecuencia Inicial		A realizar por	
							S1	S2	S3										
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4							
1	A	1	S	N	N	S	N	N	S				1. Cambiar las ruedas de arrastre		Trimestral		Operador		
		2	S	N	N	S	N	N	S				1. Cambiar el perno de eje de rueda 2. Inspección visual del componente		Mensual		Tec. Mecánico		
		3	S	N	N	S	S						1. Inspección visual del componente 2. Medir temperatura de componente		Mensual		Tec. Mecánico		
	B	1	S	N	N	S	N	N	S				1. Cambiar ruedas de arrastre		Bimestral		Tec. Mecánico		
		2	S	N	N	S	S						1. Verificar filo de herramienta de corte antes de colocar en la maquina		Diaria		Operador		
	C	1	S	N	N	S	N	N	S				1. Cambio de rodamiento de eje		Mensual		Tec. Mecánico		
		2	S	N	N	S	S						1. Inspección con pistola infrarroja de temperatura		Quincenal		Tec. Eléctrico		
		3	S	N	N	S	S						1. Tomar registro de los voltajes y corrientes de línea y fase de la conexión del variador.		Quincenal		Tec. Eléctrico		

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado Barros y otros 2014:205

Tabla 82: Hoja de información RCM de Retestadora

HOJA DE INFORMACION RCM		SISTEMA/ACTIVO: Línea Maquinado 1		SISTEMA N°: Producción		FECHA: Abril 2017	Empresa: Maderera Bozovich S.A.C.
		SUB-SISTEMA/COMPONENTE: Retestadora		SUB-SISTEMA N°: Transformación Avanzada			
FUNCION		FALLA FUNCIONAL		N°	MODO DE FALLA (Causa de falla)	CODIGO	EFFECTOS DE FALLA (Que sucede cuando falla)
1	Maquinar piso machihembrado de 3/4" de espesor de diversos largos, mediante 4 husillos de corte y 9 discos de corte a una velocidad de 28ml/m	A	Incapaz de maquinar a 28ml/min	1	Sistema de arrastre de maquina no funciona de forma adecuada, debido a rotura de faja de transmisión de rodillos de transporte	1A1	La operación de transporte de materia prima (madera) se realiza a través de rodillos. Cuando se rompe la faja de transmisión del motor hacia los rodillos de arrastre no se puede generar el movimiento de arrastre de los rodillos. Tiempo de reparación 120min.
				2	Sistema de transporte de madera no funciona en condiciones normales de funcionamiento, debido a rotura de encoder	1A2	La operación de transporte de materia prima(madera) se realiza mediante una cadena de arrastre, generando el movimiento de desplazamiento. Al no funcionar el encoder rueda de arrastre, la madera no se desplaza sobre la mesa de la maquinado Tiempo de reparación 120min.
				3	Sistema de transporte de madera no funciona en condiciones normales de funcionamiento, debido a descalibracion de posicionadores de madera	1A3	Para la operación de maquinado la materia prima(madera) debe de apoyarse sobre posicionadores de maquinado. Cuando se mueven estos posicionadores, el maquinado resulta erróneo (no sale escuadra).Tiempo de calibración de 39 escuadras 320min.
				4	Sistema de caída de madera no funciona en condiciones normales de funcionamiento, debido a rotura de flejes empujadores	1A4	La operación de caída de piso machihembrado se realiza mediante unos flejes empujadores. Cuando estos se rompen impiden que el piso caiga de manera adecuada fuera de la maquina. Tiempo de reparación 120min.
				5	Sistema de arrastre no funciona en condiciones normales de funcionamiento, debido a desgaste de rodillos de transporte	1A5	La operación de desplazamiento de piso de machihembrado se realiza mediante rodillos de goma. Cuando se desgasta el recubrimiento del rodillo pierde tracción y por ende el producto no se desplaza sobre la mesa de la maquinado Tiempo de reparación 240min.
				6	Sistema de detección de madera no funciona adecuadamente, debido a falla de fotocelda	1A6	Es necesario que la fotocelda envíe señal de detección de madera para que pueda haber sincronización del encoder con las herramientas de maquinado. Tiempo de reparación 30min.

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado Barros y otros 2014:205

Tabla 83: Hoja de decisión RCM de máquina Retestadora

HOJA DE DECISION RCM			ACTIVO:						SISTEMA N°: Transformación Avanza						FECHA: Abril 2017		Empresa: Maderera Bozovich S.A.C.	
			Retestadora						SUB-SISTEMA N°: Línea Maquinado 1									
Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"				Tarea propuesta	Frecuencia Inicial	A realizar por		
							S1	S2	S3								O1	O2
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4						
1	A	1	S	N	N	S	S						1. Verificar tension y desgaste de faja	Semanal	Operador			
		2	S	N	N	S	S						1. Inspección visual del componente	Quincenal	Tec. Eléctrico			
		3	S	N	N	S	S						1. Verificar ajuste de base de posicionadores 2. Lubricar cadena transportadora. 3. Verificar escuadra de posicionadores	Diaria	Operador			
		4	S	N	N	S	S						1. Revisar desgaste de flejes empujadores	Semanal	Operador			
		5	S	N	N	S	N	N	S				1. Cambiar rodillos lisos de transporte	Mensual	Tec. Mecánico			
		6	S	N	N	S	N	N	S				1. Cambiar sensores	Trimestral	Tec. Eléctrico			
	B	1	S	N	N	S	S						1. Verificar filo de herramienta de corte antes de colocar en la maquina	Antes de iniciar el turno	Operador			
		2	S	N	N	S	N	N	S				1. Cambio de rodamiento de eje	Trimestral	Tec. Mecánico			
	C	1	S	N	N	S	S						1. Tomar registro de los voltajes y corrientes de línea y fase de la conexión de motor.	Mensual	Tec. Mecánico			
		2	S	N	N	S	S						1. Limpieza de tarjeta procesadora de CPU 2. Realizar simulacion de fallas mediante software	Quincenal	Tec. Eléctrico			
		3	S	N	N	S	S						1. Revisar fugas de aire en sistema	Diaria	Operador			
		4	S	N	N	S	S						1. Limpieza profunda con aire y solvente dieléctrico.	Semanal	Tec. Eléctrico			
		5	S	N	N	S	S						1. Tomar registro de los voltajes y corrientes de línea y fase de la conexión del variador.	Quincenal	Tec. Eléctrico			

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado Barros y otros 2014:205

Tabla 84: Hoja de información RCM de Retestadora (Continuación)

HOJA DE INFORMACION RCM		SISTEMA/ACTIVO: Línea Maquinado 1		SISTEMA N°: Producción			FECHA: Abril 2017	Empresa: Maderera Bozovich S.A.C.
		SUB-SISTEMA/COMPONENTE: Retestadora		SUB-SISTEMA N°: Transformación Avanzada				
FUNCION		FALLA FUNCIONAL		N°	MODO DE FALLA (Causa de falla)	CODIGO	EFECTOS DE FALLA (Que sucede cuando falla)	
1	Maquinar piso machihembrado de 3/4" de espesor de diversos largos, mediante 4 husillos de corte y 9 discos de corte a una velocidad de 28ml/m	B	Incapaz de realizar cortes de 3/4" de espesor de diversos largos	1	Sierra circular no corta adecuadamente, debido a defectos de afilado.	1B1	La operación de corte de madera se realiza mediante 4 husillos de corte y 4 sierras circulares, cuando estas herramientas de corte esta mal afilada no se maquina adecuadamente el perfil de macho y hembra respectivamente, dejando marcas y rompiendo la materia prima. Tiempo de reparación 60min.	
				2	Excesiva vibración de la maquina, debido al desgaste de los rodamientos de los ejes de cabezales de corte	2B2	Cuando el eje llega a girar a 6000rpm se hace mas notorio el desgaste de los rodamientos. Es probable que se escuche internamente roces. Tiempo de reparación 240min.	
		C	Maquina no enciende	1	Sistema eléctrico no funciona adecuadamente, debido a falla de motor eléctrico de cabezal de corte	1C1	El equipo tiene un sistema de protección que se activa cuando existe un sobrecalentamiento de motor eléctrico. Tiempo de reparación 120min.	
				2	Sistema eléctrico no funciona adecuadamente, debido a falla de PLC	1C2	La maquina es comandada por un PLC, que es quien controla los sistemas mecánicos, eléctricos, electrónicos y neumáticos. Cuando este equipo se desconfigura por mala manipulación o sobrecalentamiento evita que se encienda la maquina. Tiempo de reparación 240min.	
				3	No ingresa suficiente presión de aire, debido a caída de presión de sistema neumático de planta.	1C3	La maquina necesita de aire para que sus sistemas neumáticos (cilindros, electroválvulas, etc.) puedan funcionar de forma adecuada. A medida que la presión de aire baja se activa el sistema de seguridad que apaga la maquina. Tiempo de reparación 30min	
				4	Sistema eléctrico no funciona adecuadamente, debido a mal funcionamiento de contactores.	1C4	La maquina opera mediante contactores eléctricos, cuando uno de ellos falla por desgaste en sus contactos no enciende el equipo. Tiempo de reparación 60min.	
				5	Sistema eléctrico no funciona adecuadamente, debido a bloqueo de variador electrónico.	1C5	El equipo tiene un sistema de alerta que bloquea el variador electrónico cuando existe una caída de tensión. Tiempo de reparación 30min.	

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado Barros y otros 2014:205

Tabla 85: Hoja de información RCM de Optimizadora

HOJA DE INFORMACION RCM		SISTEMA/ACTIVO: Optimizado		SISTEMA N°: Producción			FECHA: Abril 2017	Empresa: Maderera Bozovich S.A.C.
		SUB-SISTEMA/COMPONENTE: Optimizadora		SUB-SISTEMA N°: Transformación Avanzada				
FUNCION		FALLA FUNCIONAL		N°	MODO DE FALLA (Causa de falla)	CODIGO	EFECTOS DE FALLA (Que sucede cuando falla)	
1	Cortar madera de 3/4" de espesor de diversos largos de forma transversal según las marcas de crayones mediante un disco de corte a una velocidad de 30ml/m	A	Incapaz de maquinar a 30ml/min	1	Sistema de arrastre inferior no funciona de forma adecuada, debido a rotura de banda transportadora de ingreso.	1A1	La operación de alimentación de materia prima (madera) se realiza a través de una banda transportadora de ingreso. Cuando se rompe la banda transportadora de ingreso, no se puede generar la alimentación de madera. Tiempo de reparación 120min.	
				2	Sistema de arrastre no funciona en condiciones normales de funcionamiento, debido a desgaste de rodillos de presión.	1A2	La operación de arrastre se realiza mediante rodillos dentados de presión, generando el movimiento de desplazamiento. Al no tener tracción la rueda de arrastre, la madera no se desplaza sobre la mesa de la maquinado. Tiempo de reparación 120min.	
				3	Sistema de detección de madera no funciona adecuadamente, debido a falla de fotocelda	1A3	Es necesario que la fotocelda envíe señal de detección de madera para que pueda haber sincronización de la banda transportadora de ingreso con el sistema de corte. Tiempo de reparación 30min.	
		B	Incapaz de realizar cortes de 3/4" de espesor de diversos largos	1	Sierra circular no corta adecuadamente, debido a defectos de afilado.	1B1	La operación de corte de madera se realiza mediante una sierra circular, cuando esta herramienta de corte esta mal afilada no troza adecuadamente la madera, dejando marcas y rompiendo la materia prima. Tiempo de reparación 120min.	
				2	Excesiva vibración de la maquina, debido al desgaste de los rodamientos de los ejes de cabezales de corte	1B2	Cuando el eje llega a girar a 6000rpm se hace mas notorio el desgaste de los rodamientos. Es probable que se escuche internamente roces. Tiempo de reparación 120min.	
		C	Maquina no enciende	1	Sistema eléctrico no funciona adecuadamente, debido a falla de motor eléctrico de banda transportadora de desperdicios	1C1	El equipo tiene un sistema de protección que se activa cuando existe un sobrecalentamiento de motor eléctrico. Tiempo de reparación 120min.	
				2	Sistema eléctrico no funciona adecuadamente, debido a falla de servomotor de banda transportadora de ingreso.	1C2	El movimiento de ingreso de la banda transportadora se da mediante un servomotor, cuando existe un problema con este se activa un sistema de protección que evita que se encienda la maquina. Tiempo de reparación 60min.	
				3	No ingresa suficiente presión de aire, debido a caída de presión de sistema neumático de planta.	1C3	La maquina necesita de aire para que sus sistemas de arrastre puedan funcionar de forma adecuada. A medida que la presión de aire baja se activa el sistema de seguridad que apaga la maquina. Tiempo de reparación 30min	
				4	Sistema eléctrico no funciona adecuadamente, debido a mal funcionamiento de contactores.	1C4	La maquina opera mediante contactores eléctricos, cuando uno de ellos falla por desgaste en sus contactos no enciende el equipo. Tiempo de reparación 60min.	
				5	Sistema eléctrico no funciona adecuadamente, debido a bloqueo de variador electrónico.	1C5	El equipo tiene un sistema de alerta que bloquea el variador electrónico cuando existe una caída de tensión. Tiempo de reparación 30min.	

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado Barros y otros 2014:205

Tabla 86: Hoja de decisión RCM de máquina Optimizadora

HOJA DE DECISION RCM			ACTIVO:						SISTEMA N°: Transformación Avanza						FECHA: Marzo 2017		Empresa: Maderera Bozovich S.A.C.	
			Optimizadora						SUB-SISTEMA N°: Línea de Maquinado									
Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de "				Tarea propuesta	Frecuencia Inicial	A realizar por		
							S1	S2	S3								O1	O2
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4						
1	A	1	S	N	N	S	S						1. Inspección visual de banda transportadora	Al inicio de turno	Operador			
		2	S	N	N	S	N	N	S				1. Cambiar ruedas de arrastre	Mensual	Tec. Mecánico			
		3	S	N	N	S	S						1. Limpieza profunda con aire y trapo	Al inicio de turno	Operador			
	B	1	S	N	N	S	S						1. Verificar filo de sierra circular antes de colocar en la maquina	Al inicio de turno	Operador			
		2	S	N	N	S	N	N	S				1. Inspección de rodamiento con pistola de temperatura infrarroja	Quincenal	Tec. Mecánico			
	C	1	S	N	N	S	S						1. Tomar registro de los voltajes y corrientes de línea y fase de la conexión de motor eléctrico	Mensual	Tec. Eléctrico			
		2	S	N	N	S	S						1. Tomar registro de los voltajes y corrientes de línea y fase de la conexión de servomotor	Mensual	Tec. Eléctrico			
		3	S	N	N	S	S						1. Inspección de fugas de aire en maquina	Al inicio de turno	Operador			
		4	S	N	N	S	S						1. Limpieza profunda con aire y solvente dieléctrico.	Quincenal	Tec. Eléctrico			
		5	S	N	N	S	S						1. Tomar registro de los voltajes y corrientes de línea y fase de la conexión de variador	Quincenal	Tec. Eléctrico			

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado Barros y otros 2014:205

Tabla 87: Hoja de información RCM de Cepilladora 1

HOJA DE INFORMACION RCM		SISTEMA/ACTIVO: Línea Pre-Maquinado 1		SISTEMA N°: Producción		FECHA: Abril 2017	Empresa: Maderera Bozovich S.A.C.
		SUB-SISTEMA/COMPONENTE: Cepilladora 1		SUB-SISTEMA N°: Transformación Avanzada			
FUNCION		FALLA FUNCIONAL		N°	MODO DE FALLA (Causa de falla)	CODIGO	EFFECTOS DE FALLA (Que sucede cuando falla)
1	Maquinar tablonc de madera de 27mm de espesor a 22mm de diversos largos, mediante 2 cabezales de corte (superior e inferior) una velocidad de 13ml/m	A	Incapaz de maquinar a 13ml/min	1	Sistema de arrastre no funciona en condiciones normales de funcionamiento, debido a desgaste de rodillos dentados de presión.	1A1	La operación de arrastre se realiza mediante rodillos dentados de presión, generando el movimiento de desplazamiento. Al no tener tracción la rueda de arrastre, la madera no se desplaza sobre la mesa de la maquinado. Tiempo de reparación 300 min.
				2	Sistema de transporte de madera no funciona en condiciones normales de funcionamiento, debido a rotura de encoder	1A2	La operación de perfilado liso superior e inferior se realiza mediante cabezales de corte. Cuando se rompe la faja de transmisión no se genera el movimiento de corte de los cabezales de perfilado. Tiempo de reparación 60 min.
				3	Sistema de succión de aserrín no funciona en condiciones normales de funcionamiento, debido a atasco de residuos en ducto	1A3	La operación de succión se hace mediante ductos de aspiración. Cuando estos se obstruyen no se tiene la suficiente fuerza de aspiración de residuos de aserrín. Tiempo de reparación 45 min.
				4	Sistema de elevación de estructura no funciona en condiciones normales de funcionamiento, debido a desgaste de tornillo patrón de moto reductor.	1A4	La operación de elevación de estructura se genera mediante un tornillo patrón y uno moto reductor. Al no tener "hilos" el tornillo patrón no puede generar la transmisión hacia piñones dentados. Tiempo de reparación 120min.
				5	Sistema de arrastre no funciona en condiciones normales de funcionamiento, debido a desgaste de rodillos lisos de presión superior e inferior.	1A5	La operación de desplazamiento de tablonc de madera se realiza mediante rodillos lisos de presión superior e inferior. Cuando se desgastan impiden que la madera se deslice adecuadamente sobre la mesa de maquinado. Tiempo de reparación 360 min.
				6	Sistema de corte superior e inferior no funciona adecuadamente, debido a rotura de faja de transmisión de motor a cabezal de corte	1A6	Es necesario que la fotocelda envíe señal de detección de madera para que pueda haber sincronización del encoder con las herramientas de maquinado. Tiempo de reparación 30min.
		B	Incapaz de perfilar a 22mm de espesor de diversos largos	1	Cabezal helicoidal de corte no maquina adecuadamente, debido a defectos de afilado.	1B1	La operación de maquinado liso se realiza mediante 2 cabezales de corte superior e inferior respectivamente, cuando estas herramientas (cuchillas) de corte esta "quiñadas" o mal afilada no se maquina adecuadamente, dejando marcas y rompiendo la materia prima. Tiempo de reparación 45 min.
				2	Excesiva vibración de la maquina, debido al desgaste de los rodamientos de los ejes de cabezales de corte	1B2	Cuando el eje llega a girar a 8000rpm se hace mas notorio el desgaste de los rodamientos. Es probable que se escuche internamente roces. Tiempo de reparación 360 min.
		C	Maquina no enciende	1	Sistema eléctrico no funciona adecuadamente, debido a falla de motores eléctricos de cabezales helicoidal superior e inferior.	1C1	El equipo tiene un sistema de protección que se activa cuando existe un sobrecalentamiento de motor eléctrico. Tiempo de reparación 120min.
				2	Sistema eléctrico no funciona adecuadamente, debido a mal funcionamiento de contactores.	1C2	La maquina opera mediante contactores eléctricos, cuando uno de ellos falla por desgaste en sus contactos no enciende el equipo. Tiempo de reparación 30 min.
				3	Sistema eléctrico no funciona adecuadamente, debido a bloqueo de variador electrónico.	1C3	El equipo tiene un sistema de alerta que bloquea el variador electrónico cuando existe una caída de tensión. Tiempo de reparación 30min.

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado Barros y otros 2014:205

Tabla 88: Hoja de decisión RCM de máquina Cepilladora 1

HOJA DE DECISION RCM				ACTIVO:								SISTEMA N°: Transformación Avanzada								FECHA: Abril 2017		Empresa: Maderera Bozovich S.A.C.	
				Cepilladora 1								SUB-SISTEMA N°: Línea Pre-Maquinado 1											
Referencia de Información				Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"				Tarea propuesta	Frecuencia Inicial	A realizar por						
								S1	S2	S3													
								O1	O2	O3													
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4											
1	A	1	S	S				S					1. Inspeccionar rueda de arrastre	Quincenal	Operador								
		2	S	N	N	S	N	N	S				1. Inspección visual del componente	Mensual	Tec. Mecánico								
		3	S	S			S						1. Inspección visual de ducto succion	Diaria	Operador								
		4	S	N	N	S	S						1. Inspección visual de tornillo patron 2. Limpieza con aire y solvente a tornillo patron	Quincenal	Operador								
		5	S	S			S						1. Controlar e inspeccionar desgaste de diametro de rodillo	Semanal	Tec. Mecánico								
		6	S	N	N		S						1. Revisar tension de faja	Semanal	Tec. Mecánico								
	B	1	S	N	N	S	S						1. Verificar filo de herramienta de corte antes de colocar en la maquina	Diaria	Operador								
		2	S	N	N	S	N	N	S				1. Cambiar rodamientos de eje	Trimestral	Tec. Mecánico								
	C	1	S	N	N	S	S						1. Inspección con pistola infrarroja de temperatura, registro de los voltajes y corrientes de conexión de motor	Semanal	Tec. Eléctrico								
		2	S	N	N	S	S						1. Inspección con pistola infrarroja de temperatura	Semanal	Tec. Eléctrico								
		3	S	N	N	S	S						1. Tomar registro de los voltajes y corrientes de línea y fase de la conexión del variador.	Quincenal	Tec. Eléctrico								

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado Barros y otros 2014:205

Prevenir las falla

Las acciones que se pueden tomar para prevenir las fallas son las tareas proactivas que se llevan a cabo antes de que una falla ocurra, el objetivo de estas acciones es evitar que el equipo llegue a su estado de falla. Estas tareas proactivas deben estar bien definidas en el plan de mantenimiento predictivo y proactivo.

Otras de las medidas preventivas, es implementar procedimientos operacionales o modificar los existentes para que estos cumplan con los objetivos de la metodología.

Los usuarios de mantenimiento deben ser formados para el entendimiento de los procedimientos realizados por técnicos de la empresa y también, por los realizados por técnicos de empresas externas.

Todas las medidas de prevención deben estudiarse desde el punto de vista técnico y económico, para el técnico se debe analizar qué medidas serían posible implantar y en el económico se determinan el costo de cada medida, de esta manera se eliminan aquellas medidas que no se justifiquen económicamente.

En las acciones correctivas del círculo de mejora continua están los formatos que se utilizaran para estas medidas preventivas.

Elaboración del plan de mantenimiento

En esta fase de la implementación, se llevara a cabo el plan de mantenimiento en base a los modos de fallo detectados en los pasos anteriores. Para la ejecución de esta tarea será necesario el conocimiento profesional de los técnicos, y de la experiencia acumulada de los operarios de máquina. También, es necesario tomar en cuenta las indicaciones que se tiene en los manuales y catálogos proporcionados por el fabricante. Asimismo, se debe considerar que en la mayoría de estos manuales el fabricante sobredimensiona los planes de mantenimiento, ya que los diseñadores no cuentan con información sobre las consecuencias de los modos de fallos que se presentan en la vida útil de una máquina. Es necesario mencionar en algunos de los casos las fallas consideradas en el plan, estos pueden tener un bajo impacto en el proceso, de modo que se deberán ajustar las acciones de mantenimiento preventivo eliminando y agregando algunas actividades.⁹⁶

Después que se haya definido las actividades de mantenimiento más eficientes para cada máquina crítica, es posible establecer un plan de mantenimiento inicial. Este plan deberá ser actualizado periódicamente considerando el progreso de las frecuencias de fallas y sus consecuencias. La correcta ejecución del plan de mantenimiento permitirá anticiparse a las fallas y subsanarlos para tener un mínimo impacto en el funcionamiento del sistema. Asimismo, se debe identificar las causas de las fallas y depurarlas de las que tienen impacto negativo en el sistema.⁹⁷ Ver figura 71

⁹⁶ Cfr. Unzueta-Aranguren G y otros 2014: 351

⁹⁷ Cfr. Viveros y otros 2013: 133

Figura 71: Círculo de mejora continua RCM

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado de Viveros y otros 2013: 133

Plan de mantenimiento preventivo

Después que se ha desarrollado el análisis de los modos y efectos de fallas, ya se cuenta con la información necesaria para la elaboración del plan de mantenimiento preventivo de acuerdo a los resultados obtenidos de dicho análisis. Para ello, se consideró los resultados cuantitativos del Nivel de Probabilidad de Riesgo (NPR), de ello se elaboró un diagrama de Pareto para priorizar los NPR más representativos. En las tablas 89, 93, 98 y 102, se muestran los programas de mantenimiento de la Moldurera 1, Retestadora, Optimizara y Cepilladora 1.

Elaboración del plan de mantenimiento preventivo

La frecuencia de los mantenimientos está en función al tipo de componente y al contexto operacional de la máquina. Las tareas de mantenimiento lo realizan los operadores o los técnicos, esto varía de acuerdo a la complejidad del componente que se va a reemplazar o verificar.

Para cada programa de mantenimiento se ha calculado los costos de la mano de obra, repuestos e insumos.

Finalmente se ha elaborado un instructivo de las tareas de mantenimiento para cada una de las máquinas críticas, en estos instructivos se detalla la forma correcta de la ejecución de las tareas de mantenimiento.

Tabla 89: Programa de mantenimiento preventivo Moldurera 1

Moldurera 1					Ene.				Feb.				Mar.				Abr.				May.				Jun.				Jul.				Ago.				Sep.				Oct.				Nov.				Dic.			
Código	Sistema/Sección	Tarea propuesta	Frecuencia Inicial	A realizar por	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4								
1A1	Rodillos de presión superior	1. Cambiar las ruedas de arrastre	Trimestral	Operador																																																
1A2	Alimentador automático	1. Cambiar el perno de eje de rueda 2. Inspección visual del componente	Mensual	Tec. Mecánico																																																
1A3	Rodillos de desplazamiento inferior	1. Inspección visual del componente 2. Medir temperatura de componente	Mensual	Tec. Mecánico																																																
1B1	Sistema de arrastre inferior	1. Cambiar ruedas de arrastre	Bimestral	Tec. Mecánico																																																
1B2	Herramientas de corte	1. Verificar filo de herramienta de corte antes de colocar en la maquina	Diaria	Operador																																																
1C1	Rodamientos de eje de husillos	1. Cambio de rodamiento de eje	Mensual	Tec. Mecánico																																																
1C2	Contactores de sistema de encendido	1. Inspección con pistola infrarroja de temperatura	Quincenal	Tec. Eléctrico																																																
1C3	Variador electrónico	1. Tomar registro de los voltajes y corrientes de línea y fase de la conexión del variador.	Quincenal	Tec. Eléctrico																																																

Fuente: Elaboración propia 2017

Tabla 90: Costos de mantenimiento preventivo Moldurera 1

Sub- Sistema: Línea Maquinado 1		Universo: Producción	FECHA: Abril 2017		Empresa: Maderera Bozovich S.A.C.
Componente: Moldurera 1		Sistema: Transformación Avanzada							
Código	Sistema/Sección	Tarea propuesta	Tipo de Mantenimiento	Cantidad Horas	Mano de obra		Repuestos	Insumos y/o materiales	Total
					Horas S/.	Costo S/.			
1A1	Sistema de presión superior	1. Inspeccionar rueda de arrastre	Preventivo	0.5	S/.19.50	S/.9.75	S/. 0.00	S/.50.00	S/.59.75
1A2	Sistema de detección de madera (fotoceldas)	1. Inspección visual del componente	Preventivo	0.25	S/.19.50	S/.4.88	S/. 0.00	S/.0.00	S/.4.88
1A3	Sistema de succión de máquina	1. Inspección visual de ducto succión	Preventivo	0.25	S/.19.50	S/.4.88	S/. 0.00	S/.0.00	S/.4.88
1A4	Sistema de elevación	1. Inspección visual de tornillo patrón	Preventivo	0.25	S/.19.50	S/.4.88	S/. 0.00	S/.0.00	S/.4.88
1A4	Sistema de elevación	2. Limpieza con aire y solvente a tornillo patrón	Preventivo	0.5	S/.19.50	S/.9.75	S/. 0.00	S/.150.00	S/.159.75
1A5	Sistema de presión de rodillos lisos superior e inferior	1. Controlar e inspeccionar desgaste de diámetro de rodillo	Preventivo	0.5	S/.19.50	S/.9.75	S/. 0.00	S/.10.00	S/.19.75
1A6	Faja de transmisión de cabezal de corte	1. Revisar tensión de faja	Preventivo	0.5	S/.19.50	S/.9.75	S/. 0.00	S/.0.00	S/.9.75
1B1	Herramientas de corte	1. Verificar filo de herramienta de corte antes de colocar en la maquina	Preventivo	0.25	S/.19.50	S/.4.88	S/. 0.00	S/.0.00	S/.4.88
1B2	Rodamientos de cabezales de husillos de corte	1. Cambiar rodamientos de eje	Preventivo	4	S/.19.50	S/.78.00	S/. 3,500.00	S/.200.00	S/.3,778.00
1C1	Motor eléctrico de cabezal de corte superior e inferior	1. Inspección con pistola infrarroja de temperatura, registro de los voltajes y corrientes de conexión de motor	Preventivo	0.5	S/.19.50	S/.9.75	S/. 0.00	S/.10.00	S/.19.75
1C2	Contactores de sistema de encendido	1. Inspección con pistola infrarroja de temperatura	Preventivo	0.5	S/.19.50	S/.9.75	S/. 0.00	S/.10.00	S/.19.75
1C3	Variador electrónico	1. Tomar registro de los voltajes y corrientes	Preventivo	0.5	S/.19.50	S/.9.75	S/. 0.00	S/.10.00	S/.19.75
Sumatorias									S/.4,105.75

Fuente: Elaboración propia 2017

Tabla 91: Instructivo de máquina Moldurera

INSTRUCTIVO DE MANTENIMIENTO DE MAQUINAS CON METODOLOGIA RCM					
Nombre MP	(Todas)				
MAQUINA	Moldurera 1				
Código	Realizado	Sistema/Sección	Descripción Actividad	Nro.	Procedimiento de actividad
1A1	Operador	Rodillos de presión superior	Cambiar ruedas de arrastre	1	Desmontar eje de rueda de arrastre
				2	Desmontar tapa de eje central
				3	Verificación y/o recambio de rueda arrastre
				4	Cambio de rodamientos
				5	Cambio de rodamientos del eje de rueda
				6	Engrase de rodamientos
1A2	Tec. Mecánico	Alimentador automático	Cambiar el perno de eje de rueda	1	Retirar guarda de seguridad
				2	Retirar mangueras hidráulicas
				3	Desmontar alimentador automático
				4	Desmontar tuerca de perno central
				5	Verificar con un cuenta hilos el paso de rosca adecuado
				6	Si es que el perno esta deficiente, cambiar por uno nuevo
				7	Repetir primeros pasos de manera inversa para el armado
			Inspección visual del componente	1	Inspección visual del componente
1A3	Tec. Mecánico	Alimentador automático	Inspección visual del componente	1	Inspección visual del componente
		Rodillos de desplazamiento inferior	Medir temperatura de rodamiento de rodillo	1	El rodamiento debe inspeccionarse cuando se haya calentado, es decir; se encuentre en un estado de funcionamiento estable y tenga una carga normal
				2	Capture una imagen térmica del rodamiento del rodillo
				3	Compare la imagen del rodamiento del lado opuesto del rodillo
				4	Registre los datos para su posterior análisis
1B1	Tec. Mecánico	Sistema de arrastre inferior	Cambiar ruedas de arrastre	1	Desmontar eje de rueda de arrastre
				2	Desmontar tapa de eje central
				3	Verificación y/o recambio de rueda arrastre
				4	Cambio de rodamientos
				5	Cambio de rodamientos del eje de rueda
				6	Engrase de rodamientos
				7	Repetir primeros pasos de manera inversa para el armado

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C
Elaboración propia 2017

Tabla 92: Continuación de Instructivo de máquina Moldurera

1B2	Operador	Herramientas de corte	Verificar filo de herramienta de corte antes de colocar en la maquina	<ul style="list-style-type: none"> 1 Apagar y desenchufar la herramienta al realizar la revisión 2 Levantar la protección de seguridad 3 Ejercer presión sobre el bloqueo del eje (Para que el disco no pueda girar) 4 Afloje el perno hexagonal girándolo en sentido anti horario (Utilizando la llave de tubo) 5 Quite el perno hexagonal, la brida y el disco (No extraiga la brida interior , la anilla y la junta tórica) 6 Para instalar la herramienta de corte, siga los procedimientos de extracción a la inversa.
1C1	Tec. Mecánico	Rodamientos de eje de husillo	Cambio de rodamiento de eje	<ul style="list-style-type: none"> 1 Extraer piedra del husillo 2 Extraer piedra de carburo de silicio 3 Extraer guardamotor 4 Extraer tapa de motor (El proceso es el mismo para ambos lados) 5 Cambio de rodamientos 6 Se procede al armado correspondiente de las piezas extraídas 7 Repetir primeros pasos de manera inversa para el armado
1C2	Tec. Eléctrico	Contactores de sistema de encendido	Limpieza profunda con aire y solvente dieléctrico	<ul style="list-style-type: none"> 1 Desernegizar el tablero 2 Buscar cables recalentados 3 Eliminar puntas recalentadas de cables 4 Revisar estado de contactores 5 Realizar apriete de conexiones 6 Usar aire con disolvente dieléctrico para eliminar el polvo 7 Realizar pruebas de funcionamiento
1C3	Tec. Eléctrico	Variador electrónico	Tomar registro de los voltajes y corrientes de línea y fase de la conexión del variador	<ul style="list-style-type: none"> 1 Desmontar tapa de bornes de variador 2 Colocar pinza amperimetrica en cables de tensión 3 Revisar posibles cables en mal estado y sueltos 4 Verificar conexiones de borneras 5 Si hubiese alguna anomalía apagar el variador 6 Revisar puesta a tierra

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C
Elaboración propia 2017

Tabla 93: Programa de mantenimiento preventivo Retestadora

Retestadora					Ene.			Feb.			Mar.			Abr.			May.			Jun.			Jul.			Ago.			Sep.			Oct.			Nov.			Dic.									
Código	Sistema/Sección	Tarea propuesta	Frecuencia Inicial	A realizar por	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4							
1A1	Transmisión de rodillos de transporte	1. Verificar tensión y desgaste de faja	Semanal	Operador																																											
1A2	Contador electrónico (encoder)	1. Inspección visual del componente	Quincenal	Tec. Eléctrico																																											
1A3	Brazos transportadores de madera	1. Verificar ajuste de base de posicionadores 2. Lubricar cadena transportadora. 3. Verificar escuadra de posicionadores	Diaria	Operador																																											
1A4	Flejes empujadores de salida	1. Revisar desgaste de flejes empujadores	Semanal	Operador																																											
1A5	Rodillos de transporte de madera	1. Cambiar rodillos lisos de transporte	Mensual	Tec. Mecánico																																											
1A6	Sistema de detección de madera (fotoceldas)	1. Cambiar sensores	Trimestral	Tec. Eléctrico																																											
1B1	Herramientas de corte	1. Verificar filo de herramienta de corte antes de colocar en la maquina	Diaria	Operador																																											
1B2	Rodamientos de husillo cabezales de corte	1. Cambio de rodamiento de eje	Trimestral	Tec. Mecánico																																											
1C1	Motor eléctrico de cabezal de corte	1. Tomar registro de los voltajes y corrientes de línea y fase de la conexión de motor.	Mensual	Tec. Mecánico																																											
1C2	Controlador Lógico Programable	1. Limpieza de tarjeta procesadora de CPU 2. Realizar simulación de fallas mediante software	Quincenal	Tec. Eléctrico																																											
1C3	Sistema de succión de máquina	1. Revisar fugas de aire en sistema	Diaria	Operador																																											
1C4	Contactores de sistema de encendido	1. Limpieza profunda con aire y solvente dieléctrico.	Semanal	Tec. Eléctrico																																											
1C5	Variador electrónico	1. Tomar registro de los voltajes y corrientes de línea y fase de la conexión del variador.	Quincenal	Tec. Eléctrico																																											

Fuente: Elaboración propia 2017

Tabla 94: Costos de mantenimiento preventivo Retestadora

Sub-Sistema: Línea Maquinado 1		Universo: Producción	FECHA: Abril 2017		Empresa: Maderera Bozovich S.A.C.
Componente: Retestadora		Sistema: Transformación Avanzada							
Código	Sistema/Sección	Tarea propuesta	Tipo de Mantenimiento	Cantidad Horas	Mano de obra		Repuestos	Insumos y/o materiales	Total
					Horas S/.	Costo S/.			
1A1	Sistema de presión superior	1. Inspeccionar visualmente rueda de arrastre	Preventivo	0.5	S/19.50	S/9.75	S/ 0.00	S/0.00	S/9.75
1A2	Sistema de detección de madera (fotoceldas)	1. Inspección visual del componente	Preventivo	0.5	S/19.50	S/9.75	S/ 0.00	S/0.00	S/9.75
1A3	Sistema de succión de máquina	1. Inspección visual de ducto de succión	Preventivo	0.5	S/19.50	S/9.75	S/ 0.00	S/0.00	S/9.75
1A4	Sistema de elevación	1. Inspección visual de tornillo patrón	Preventivo	0.5	S/19.50	S/9.75	S/ 0.00	S/0.00	S/9.75
1A4	Sistema de elevación	2. Limpieza con aire y solvente a tornillo patrón	Preventivo	0.25	S/19.50	S/4.88	S/ 0.00	S/150.00	S/154.88
1A5	Sistema de presión de rodillos lisos superior e inferior	1. Controlar e inspeccionar desgaste de diámetro de rodillo	Preventivo	0.25	S/19.50	S/4.88	S/ 0.00	S/10.00	S/14.88
1A6	Faja de transmisión de cabezal de corte	1. Revisar tensión de faja	Preventivo	0.25	S/19.50	S/4.88	S/ 0.00	S/0.00	S/4.88
1B1	Herramientas de corte	1. Verificar filo de herramienta de corte antes de colocar en la maquina	Preventivo	0.25	S/19.50	S/4.88	S/ 0.00	S/0.00	S/4.88
1B2	Rodamientos de cabezal superior e inferior	1. Cambiar rodamientos de eje	Preventivo	4	S/19.50	S/78.00	S/ 3,500.00	S/150.00	S/3,728.00
1C1	Motor eléctrico de cabezal de corte superior e inferior	1. Inspección con pistola infrarroja de temperatura, registro de los voltajes y corrientes de conexión de motor	Preventivo	0.25	S/19.50	S/4.88	S/ 0.00	S/10.00	S/14.88
1C2	Contactores de sistema de encendido	1. Inspección con pistola infrarroja de temperatura	Preventivo	0.25	S/19.50	S/4.88	S/ 0.00	S/10.00	S/14.88
1C3	Variador electrónico	1. Tomar registro de los voltajes y corrientes de línea y fase de la conexión del variador.	Preventivo	0.5	S/19.50	S/9.75	S/ 0.00	S/10.00	S/19.75
Sumatorias									S/3,996.00

Fuente: Elaboración propia 2017

Tabla 95: Instructivo de máquina Retestadora

INSTRUCTIVO DE MANTENIMIENTO DE MAQUINAS CON METODOLOGIA RCM					
Nombre MP	(Todas)				
MAQUINA	Retestadora				
Código	Realizado	Sistema/Sección	Descripción Actividad	Nro.	Procedimiento de actividad
1A1	Operador	Transmisión de rodillos de transporte	Verificar tensión y desgaste de faja	1	1 Verificar tensión de faja
				2	2 Si es necesario desmontar la faja desgastada de las poleas
				3	3 Colocar la faja nueva en la guía de las poleas
				4	4 Ajustar los pernos de soporte de las poleas tensionando la faja
1A2	Tec. Eléctrico	Contador electrónico (encoder)	Inspección visual del componente	1	1 Verificar que sensores estén funcionando adecuadamente
				2	2 Verificar medidas de sensado
				3	3 Revisar ruedas de contador lineal
				4	4 Verificar torque adecuado de pernos de sujeción
1A3	Operador	Brazos transportadores de madera	Lubricar cadena transportadora	1	1 Medir nivel de aceite de caja reductora
				2	2 Verificar consistencia de aceite
				3	3 Coger una porción para análisis de laboratorio
				4	4 Llenar la caja reductora hasta el nivel adecuado
				5	5 Tapar la caja reductora
			Verificar ajuste de base de posicionadores	1	1 Retirar tapa de empujador
				2	2 Si es que no se cuenta con el torque adecuado ajustar según el manual de fabricante
				3	3 Cubrir tapa de empujador
				4	4 Lubricar cadena de arrastre
			Verificar escuadra de posicionadores	1	1 Encender el equipo
				2	2 Colocar escuadra de pelo en posicionadores de base
				3	3 Con una galga de espesores medir desviación de posicionadores
				4	4 Si es que la desviación es demasiada, desmontar brazo
1A4	Operador	Flejes empujadores de salida	Revisar desgaste de flejes empujadores	1	1 Quitar candado de cadena de arrastre
				2	2 Extraer cadena de arrastre
				3	3 Extraer pernos de sujeción de cola de milano
				4	4 Cambiar cola de milano
				5	5 Sujetar cola de milano mediante ajuste de pernos
				6	6 Repetir primeros pasos de manera inversa para el armado
1A5	Tec. Mecánico	Rodillos de transporte de madera	Cambiar rodillos lisos de transporte	1	1 Revisar conicidad de los rodillos o lados
				2	2 Apagar y desenchufar la herramienta al realizar el mantenimiento
				3	3 Extraer las tapas de los porta rodillos (Utilizando un destornillador)
				4	4 Sacar los rodillos desgastados (Cámbielas si el desgaste alcanzo la marca límite)
				5	5 Introduzca las nuevas y cierre las tapas de los porta rodillos

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C

Elaboración propia 2017

Tabla 96: Continuación de instructivo de máquina Retestadora

1A6	Tec. Eléctrico	Sistema de detección de madera (fotoceldas)	Cambiar sensores	<ul style="list-style-type: none"> 1 Para el cambio de estos sensores primero desconectar el sistema eléctrico. 2 Luego cerrar las válvulas de entrada de agua, posteriormente desarmar la carcasa de este, retirar los componentes internos. 3 Después lijar los componentes con lija de agua, si es necesario usar un desincrustante de caliche. 4 Montar todo, abrir las válvulas y conectar el sistema eléctrico.
1B1	Operador	Herramientas de corte	Verificar filo de herramienta de corte antes de colocar en la maquina	<ul style="list-style-type: none"> 1 Apagar y desenchufar la herramienta al realizar la revisión 2 Levantar la protección de seguridad 3 Ejercer presión sobre el bloqueo del eje (Para que el disco no pueda girar) 4 Afloje el perno hexagonal girándolo en sentido anti horario (Utilizando la llave de tubo) 5 Quite el perno hexagonal, la brida y el disco (No extraiga la brida interior, la anilla y la junta tórica) 6 Para instalar la herramienta de corte, siga los procedimientos de extracción a la inversa.
1B2	Tec. Mecánico	Rodamientos de husillo cabezales de corte	Cambio de rodamiento de eje	<ul style="list-style-type: none"> 1 Extraer piedra del husillo 2 Extraer piedra de carburo de silicio 3 Extraer guardamotor 4 Extraer tapa de motor (El proceso es el mismo para ambos lados) 5 Cambio de rodamientos 6 Se procede al armado correspondiente de las piezas extraídas
1C1	Tec. Eléctrico	Motor eléctrico de cabezal de corte	Tomar registro de los voltajes y corrientes de línea y fase de la conexión de motor	<ul style="list-style-type: none"> 1 Desmontar tapa de bornes de motor 2 Colocar pinza amperimétrica en cables de tensión 3 Revisar posibles cables en mal estado y sueltos 4 Verificar conexiones de borneras 5 Si hubiese alguna anomalía apagar el motor 6 Revisar puesta a tierra
1C2	Tec. Eléctrico	Controlador Lógico Programable	Limpieza de tarjeta procesadora de CPU Realizar simulador de fallas mediante Software	<ul style="list-style-type: none"> 1 Apague el equipo. 2 Desconecte 3 Desconecte el equipo de la toma eléctrica. 4 Elimine el exceso de polvo con un cepillo de cerdas duras, cepillando de arriba hacia abajo. 5 Aplicación de espuma limpiadora 1 Diagnosticar módulos de entradas digitales 2 Diagnosticar módulos de entrada analógicos 3 Diagnosticar módulos de salida digitales 4 Diagnosticar módulos de salida analógicas

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C
Elaboración propia 2017

Tabla 97: Continuación de instructivo de máquina Retestadora

1C3	Operador	Sistema de succión de maquina	Revisar fugas de aire del sistema	<ul style="list-style-type: none"> 1 Apagar equipo de succión en funcionamiento 2 Revisar obstrucciones en ductos de aspiración 3 Si es que se encuentra objetos, retirarlos con mucho cuidado 4 Con una pistola de aire sopletear los residuos del ducto 5 Prender succión de aspiración 6 Verificar fuerza de succión
1C4	Tec. Eléctrico	Contactores de sistema de encendido	Limpieza profunda con aire y solvente dieléctrico	<ul style="list-style-type: none"> 1 Desernegizar el tablero 2 Buscar cables recalentados 3 Eliminar puntas recalentadas de cables 4 Revisar estado de contactores 5 Realizar apriete de conexiones 6 Usar aire con disolvente dieléctrico para eliminar el polvo 7 Realizar pruebas de funcionamiento
1C5	Tec. Eléctrico	Variador electrónico	Tomar registro de los voltajes y corrientes de línea y fase de la conexión del variador	<ul style="list-style-type: none"> 1 Desmontar tapa de bornes de variador 2 Colocar pinza amperimetrica en cables de tensión 3 Revisar posibles cables en mal estado y sueltos 4 Verificar conexiones de borneras 5 Si hubiese alguna anomalía apagar el variador 6 Revisar puesta a tierra

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C
Elaboración propia 2017

Tabla 98: Programa de mantenimiento preventivo Optimizadora

Optimizadora					Ene.				Feb.				Mar.				Abr.				May.				Jun.				Jul.				Ago.				Sep.				Oct.				Nov.				Dic.			
Código	Sistema/Sección	Tarea propuesta	Frecuencia Inicial	A realizar por	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4								
1A1	Banda transportadora de ingreso	1. Inspección visual de banda transportadora	Diaria	Operador																																																
1A2	Sistema de rodillos de presión	1. Cambiar ruedas de arrastre	Mensual	Tec. Mecánico																																																
1A3	Sistema de detección de madera (fotoceldas)	1. Limpieza profunda con aire y trapo	Diaria	Operador																																																
1B1	Herramientas de corte	1. Verificar filo de sierra circular antes de colocar en la maquina	Diaria	Operador																																																
1B2	Rodamientos de husillo de sierra circular	1. Inspección de rodamiento con pistola de temperatura infrarroja	Quincenal	Tec. Mecánico																																																
1C1	Motor eléctrico de banda transportadora de desperdicios	1. Tomar registro de los voltajes y corrientes de línea y fase de la conexión de motor eléctrico	Mensual	Tec. Eléctrico																																																
1C2	Servomotor de banda transportadora de ingreso	1. Tomar registro de los voltajes y corrientes de línea y fase de la conexión de servomotor	Mensual	Tec. Eléctrico																																																
1C3	Sistema neumático	1. Inspección de fugas de aire en maquina	Diaria	Operador																																																
1C4	Contactores de sistema de encendido	1. Limpieza profunda con aire y solvente dieléctrico.	Quincenal	Tec. Eléctrico																																																
1C5	Variador electrónico	1. Tomar registro de los voltajes y corrientes de línea y fase de la conexión de variador	Quincenal	Tec. Eléctrico																																																

Fuente: Elaboración propia 2017

Tabla 99: Costos de mantenimiento preventivo Optimizadora

Sub- Sistema: Línea Maquinado 1		Universo: Producción	FECHA: Abril 2017		Empresa: Maderera Bozovich S.A.C.
Componente: Optimizadora		Sistema: Transformación Avanzada							
Código	Sistema/Sección	Tarea propuesta	Tipo de Mantenimiento	Cantidad Horas	Mano de obra		Repuestos	Insumos y/o materiales	Total
					Horas S/.	Costo S/.			
1A1	Banda transportadora de ingreso	Inspección visual de banda transportadora	Preventivo	0.5	S/19.50	S/9.75	S/ 0.00	S/0.00	S/9.75
1A2	Sistema de rodillos de presión superior	Cambiar ruedas de arrastre	Preventivo	4	S/19.50	S/78.00	S/ 2,000.00	S/200.00	S/2,278.00
1A3	Sistema de detección de madera (fotoceldas)	Limpieza profunda con aire y trapo	Preventivo	0.5	S/19.50	S/9.75	S/ 0.00	S/25.00	S/34.75
1B1	Herramientas de corte	Verificar filo de sierra circular antes de colocar en la maquina	Preventivo	0.5	S/19.50	S/9.75	S/ 0.00	S/0.00	S/9.75
1B2	Rodamientos de husillo de sierra circular	Inspección de rodamiento con pistola de temperatura infrarroja	Preventivo	0.5	S/19.50	S/9.75	S/ 0.00	S/10.00	S/19.75
1C1	Motor eléctrico de banda transportadora de desperdicios	Tomar registro de los voltajes y corrientes de línea y fase de la conexión de motor eléctrico	Preventivo	0.5	S/19.50	S/9.75	S/ 0.00	S/10.00	S/19.75
1C2	Servomotor de banda transportadora de ingreso	Tomar registro de los voltajes y corrientes de línea y fase de la conexión de servomotor	Preventivo	0.5	S/19.50	S/9.75	S/ 0.00	S/10.00	S/19.75
1C3	Sistema neumático	Inspección de fugas de aire en maquina	Preventivo	0.25	S/19.50	S/4.88	S/ 0.00	S/0.00	S/4.88
1C4	Contactores de sistema de encendido	Limpieza profunda con aire y solvente dieléctrico.	Preventivo	0.25	S/19.50	S/4.88	S/ 0.00	S/150.00	S/154.88
1C5	Variador electrónico	Tomar registro de los voltajes y corrientes de línea y fase de la conexión de variador	Preventivo	0.5	S/19.50	S/9.75	S/ 0.00	S/10.00	S/19.75
Sumatorias									S/2,571.00

Fuente: Elaboración propia 2017

Tabla 100: Instructivo de máquina Optimizadora

INSTRUCTIVO DE MANTENIMIENTO DE MAQUINAS CON METODOLOGIA RCM					
Nombre MP	(Todas)				
MAQUINA	Optimizadora				
Código	Realizado	Sistema/Sección	Descripción Actividad	Nro.	Procedimiento de actividad
1A1	Operador	Banda transportadora de ingreso	Inspección visual de banda transportadora	1	1 Revisar posibles rayaduras en todo el largo de la banda
				2	2 Revisar tensión adecuada de banda
				3	3 Revisar posibles fugas de aceite de caja reductora de banda
				4	4 Revisar ajuste adecuado de pernos de sujeción
1A2	Operador	Sistema de rodillos de presión superior	Cambiar ruedas de arrastre	1	1 Desmontar eje de rueda de arrastre
				2	2 Desmontar tapa de eje central
				3	3 Verificación y/o recambio de rueda arrastre
				4	4 Cambio de rodamientos
				5	5 Cambio de rodamientos del eje de rueda
				6	6 Engrase de rodamientos
1A3	Operador	Sistema de detección de madera (fotoceldas)	Limpieza profunda con aire y trapo	1	1 Verificar que máquina este apagada
				2	2 Buscar posibles obstrucciones entorno de sensor
				3	3 Inspeccionar sujeción de cables
				4	4 Verificar que luz led encienda
				5	5 Usar aire con disolvente dieléctrico para eliminar el polvo
				6	6 Realizar pruebas de funcionamiento
1B1	Operador	Herramientas de corte	Verificar filo de herramienta de corte antes de colocar en la maquina	1	1 Apagar y desenchufar la herramienta al realizar la revisión
				2	2 Levantar la protección de seguridad
				3	3 Ejercer presión sobre el bloqueo del eje (Para que el disco no pueda girar)
				4	4 Afloje el perno hexagonal girándolo en sentido anti horario (Utilizando la llave de tubo)
				5	5 Quite el perno hexagonal, la brida y el disco (No extraiga la brida interior , la anilla y la junta tórica)
				6	6 Para instalar la herramienta de corte, siga los procedimientos de extracción a la inversa.
1B2	Tec. Mecánico	Rodamientos de husillo de sierra circular	Inspección de rodamiento con pistola de temperatura infrarroja	1	1 El rodamiento debe inspeccionarse cuando se haya calentado, es decir; se encuentre en un estado de funcionamiento estable y tenga una carga normal
				2	2 Capture una imagen térmica del rodamiento del husillo
				3	3 Compare la imagen del rodamiento del lado opuesto del husillo
				4	4 Registre los datos para su posterior análisis

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C

Elaboración propia 2017

Tabla 101: Continuación de Instructivo de máquina Optimizadora

1C1	Tec. Eléctrico	Motor eléctrico de banda transportadora de desperdicios	Tomar registro de los voltajes y corrientes de línea y fase de la conexión de motor eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> 1 Desmontar tapa de bornes de motor 2 Colocar pinza amperimetrica en cables de tensión 3 Revisar posibles cables en mal estado y sueltos 4 Verificar conexiones de borneras 5 Si hubiese alguna anomalía apagar el motor 6 Revisar puesta a tierra
1C2	Tec. Eléctrico	Servomotor de banda transportadora de ingreso	Tomar registro de los voltajes y corrientes de línea y fase de la conexión de servomotor	<ul style="list-style-type: none"> 1 Desmontar tapa de bornes de servomotor 2 Colocar pinza amperimetrica en cables de tensión 3 Revisar posibles cables en mal estado y sueltos 4 Verificar conexiones de borneras 5 Si hubiese alguna anomalía apagar el servomotor 6 Revisar puesta a tierra
1C3	Operador	Sistema neumático	Inspección de fugas de aire en maquina	<ul style="list-style-type: none"> 1 Esta actividad debe realizarse cuando no haya ruidos cercanos en la máquina a inspeccionar 2 Verificar presión de aire en manómetro 3 Si es que el manómetro esta por debajo de 6Bares 4 Inspeccionar mangueras y conexiones neumáticas 5 Colocar en el registro los puntos exactos de fugas de aire
1C4	Tec. Eléctrico	Contactores de sistema de encendido	Limpieza profunda con aire y solvente dieléctrico	<ul style="list-style-type: none"> 1 Desernegizar el tablero 2 Buscar cables recalentados 3 Eliminar puntas recalentadas de cables 4 Revisar estado de contactores 5 Realizar apriete de conexiones 6 Usar aire con disolvente dieléctrico para eliminar el polvo 7 Realizar pruebas de funcionamiento
1C5	Tec. Eléctrico	Variador electrónico	Tomar registro de los voltajes y corrientes de línea y fase de la conexión del variador	<ul style="list-style-type: none"> 1 Desmontar tapa de bornes de variador 2 Colocar pinza amperimetrica en cables de tensión 3 Revisar posibles cables en mal estado y sueltos 4 Verificar conexiones de borneras 5 Si hubiese alguna anomalía apagar el variador 6 Revisar puesta a tierra

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C
Elaboración propia 2017

Tabla 102: Programa de mantenimiento preventivo Cepilladora 1

Cepilladora 1					Ene.		Feb.			Mar.			Abr.			May.			Jun.			Jul.			Ago.			Sep.			Oct.			Nov.			Dic.							
Código	Sistema/Sección	Tarea propuesta	Frecuencia Inicial	A realizar por	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
1A1	Sistema de presión superior	1. Inspeccionar rueda de arrastre	Quincenal	Operador																																								
1A2	Sistema de detección de madera (fotoceldas)	1. Inspección visual del componente	Mensual	Tec. Mecánico																																								
1A3	Sistema de succión de máquina	1. Inspección visual de ducto succión	Diaria	Operador																																								
1A4	Sistema de elevación	1. Inspección visual de tornillo patrón 2. Limpieza con aire y solvente a tornillo patrón	Quincenal	Operador																																								
1A5	presión de rodillos lisos superior	1. Controlar e inspeccionar desgaste de diámetro de rodillo	Semanal	Tec. Mecánico																																								
1A6	de transmisión de cabezal de corte	1. Revisar tensión de faja	Semanal	Tec. Mecánico																																								
1B1	Herramientas de corte	1. Verificar filo de herramienta de corte antes de colocar en la maquina	Diaria	Operador																																								
1B2	Rodamientos de cabezal superior e inferior	1. Cambiar rodamientos de eje	Trimestral	Tec. Mecánico																																								
1C1	trónico de cabezal de corte superior	1. Inspección con pistola infrarroja de temperatura, registro de los voltajes y corrientes de conexión de motor	Semanal	Tec. Eléctrico																																								
1C2	Contactores de sistema de encendido	1. Inspección con pistola infrarroja de temperatura	Semanal	Tec. Eléctrico																																								
1C3	Variador electrónico	1. Tomar registro de los voltajes y corrientes de línea y fase de la conexión del variador.	Quincenal	Tec. Eléctrico																																								

Fuente: Elaboración propia 2017

Tabla 103: Costos de mantenimiento preventivo Cepilladora 1

Sub- Sítsema: Línea Maquinado 1		Universo: Producción	FECHA: Abril 2017		Empresa: Maderera Bozovich S.A.C.
Componente: Cepilladora 1		Sistema: Transformación Avanzada							
Código	Sistema/Sección	Tarea propuesta	Tipo de Mantenimiento	Cantidad Horas	Mano de obra		Repuestos	Insumos y/o materiales	Total
					Horas S/.	Costo S/.			
1A1	Sistema de presión superior	1. Inspeccionar visualmente rueda de arrastre	Preventivo	0.5	S/.19.50	S/.9.75	S/. 0.00	S/.0.00	S/.9.75
1A2	Sistema de detección de madera (fotoceldas)	1. Inspección visual del componente	Preventivo	0.5	S/.19.50	S/.9.75	S/. 0.00	S/.0.00	S/.9.75
1A3	Sistema de succión de máquina	1. Inspección visual de ducto de succión	Preventivo	0.5	S/.19.50	S/.9.75	S/. 0.00	S/.0.00	S/.9.75
1A4	Sistema de elevación	1. Inspección visual de tornillo patrón	Preventivo	0.5	S/.19.50	S/.9.75	S/. 0.00	S/.0.00	S/.9.75
1A4	Sistema de elevación	2. Limpieza con aire y solvente a tornillo patrón	Preventivo	0.25	S/.19.50	S/.4.88	S/. 0.00	S/.150.00	S/.154.88
1A5	Sistema de presión de rodillos lisos superior e inferior	1. Controlar e inspeccionar desgaste de diámetro de rodillo	Preventivo	0.25	S/.19.50	S/.4.88	S/. 0.00	S/.10.00	S/.14.88
1A6	Faja de transmisión de cabezal de corte	1. Revisar tensión de faja	Preventivo	0.25	S/.19.50	S/.4.88	S/. 0.00	S/.0.00	S/.4.88
1B1	Herramientas de corte	1. Verificar filo de herramienta de corte antes de colocar en la maquina	Preventivo	0.25	S/.19.50	S/.4.88	S/. 0.00	S/.0.00	S/.4.88
1B2	Rodamientos de cabezal superior e inferior	1. Cambiar rodamientos de eje	Preventivo	4	S/.19.50	S/.78.00	S/. 3,500.00	S/.150.00	S/.3,728.00
1C1	Motor eléctrico de cabezal de corte superior e inferior	1. Inspección con pistola infrarroja de temperatura, registro de los voltajes y corrientes de conexión de motor	Preventivo	0.25	S/.19.50	S/.4.88	S/. 0.00	S/.10.00	S/.14.88
1C2	Contactores de sistema de encendido	1. Inspección con pistola infrarroja de temperatura	Preventivo	0.25	S/.19.50	S/.4.88	S/. 0.00	S/.10.00	S/.14.88
1C3	Variador electrónico	1. Tomar registro de los voltajes y corrientes de línea y fase de la conexión del variador.	Preventivo	0.5	S/.19.50	S/.9.75	S/. 0.00	S/.10.00	S/.19.75
Sumatorias									S/.3,996.00

Fuente: Elaboración propia 2017

Tabla 104: Instructivo de máquina Cepilladora

INSTRUCTIVO DE MANTENIMIENTO DE MAQUINAS CON METODOLOGIA RCM					
Nombre MP	(Todas)				
MAQUINA	Cepilladora 1				
Código	Realizado	Sistema/Sección	Descripción Actividad	Nro.	Procedimiento de actividad
1A1	Tec. Mecánico	Sistema de presión superior	Cambio de dedos de arrastre	1	Levantar la estructura superior
				2	Apagar el sistema
				3	Destensar la cadena de arrastre (Quitar tensión)
				4	Abrir guarda de seguridad
				5	Desaflojar base de los dedos de arrastre
				6	Realización de cambio de dedos de arrastre
				7	Ajustar los dedos de arrastre instalados
				8	Realizar de manera inversa los primeros pasos para culminar la instalación
1A2	Tec. Eléctrico	Contador electrónico (encoder)	Inspección visual del componente	1	Verificar que sensores estén funcionando adecuadamente
				2	Verificar medidas de sensado
				3	Revisar ruedas de contador lineal
				4	Verificar torque adecuado de pernos de sujeción
1A3	Operador	Sistema de succión de maquina	Revisar fugas de aire del sistema	1	Apagar equipo de succión en funcionamiento
				2	Revisar obstrucciones en ductos de aspiración
				3	Si es que se encuentra objetos, retirarlos con mucho cuidado
				4	Con una pistola de aire soplear los residuos del ducto
				5	Prender succión de aspiración
				6	Verificar fuerza de succión
1A4	Tec. Mecánico	Sistema de presión superior (salida de máquina)	Cambio por desgaste del Plato prensor	1	Desmontar tuberías de extracción de aserrín
				2	Desajustar pernos de base de plato prensor
				3	Extraer plato prensor
				4	Proceder al montado respectivo para el armado
1A5	Tec. Mecánico	Sistema de presión superior (rodillo segmentado)	Cambio de Rodillos segmentados	1	Desmontar tuberías de extracción de aserrín
				2	Extraer plato prensor
				3	Desajustar base de rodillo segmentado
				4	Proceder a su extracción
				5	Instalación del nuevo rodillo segmentado
				6	Proceder a su armado correspondiente

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C

Elaboración propia 2017

Tabla 105: Continuación de instructivo de máquina Cepilladora

1A6	Tec. Mecánico	Faja de transmisión de cabezal de corte	Cambio de fajas del sistema de reducción de velocidad	<ul style="list-style-type: none"> 1 Quitar guarda de seguridad 2 Extraer cubierta 3 Extraer aceite 4 Revisar piñones y rodajes 5 Revisar aceite 6 Realizar cabios de rodajes y piñones 7 Realizar respectivo montaje de las piezas extraídas
1B1	Tec. Mecánico	Faja de transmisión superior	Cambio de faja de cabezal superior	<ul style="list-style-type: none"> 1 Quitar la guarda de seguridad 2 des tensionar la faja 3 retirar la faja a cambiar 4 Instalar la nueva faja 5 Realizar de manera inversa los primeros pasos para culminar la instalación
1B2	Operador	Sistema de lubricación de máquina	Cambio de aceite al Sistema de lubricación de aceite de componentes neumáticos	<ul style="list-style-type: none"> 1 Cambio de filtros 2 Limpieza de almacén de aceite 3 Inspeccionar nivel de aceite 4 Cambio de electroválvula (Solenoides)
1C1	Tec. Eléctrico	Motor eléctrico de cabezal de corte superior e inferior	Inspección de rodamiento con pistola de temperatura infrarroja	<ul style="list-style-type: none"> 1 El rodamiento debe inspeccionarse cuando se haya calentado, es decir; se encuentre en un estado de funcionamiento estable y tenga una carga normal 2 Capture una imagen térmica del rodamiento del motor 3 Compare la imagen del rodamiento del lado opuesto del motor 4 Registre los datos para su posterior análisis
1C2	Tec. Eléctrico	Contactores de sistema de encendido	Limpieza profunda con aire y solvente dieléctrico	<ul style="list-style-type: none"> 1 Desernegizar el tablero 2 Buscar cables recalentados 3 Eliminar puntas recalentadas de cables 4 Revisar estado de contactores 5 Realizar apriete de conexiones 6 Usar aire con disolvente dieléctrico para eliminar el polvo 7 Realizar pruebas de funcionamiento
1C3	Tec. Eléctrico	Variador electrónico	Tomar registro de los voltajes y corrientes de línea y fase de la conexión del variador	<ul style="list-style-type: none"> 1 Desmontar tapa de bornes de variador 2 Colocar pinza amperimétrica en cables de tensión 3 Revisar posibles cables en mal estado y sueltos 4 Verificar conexiones de borneras 5 Si hubiese alguna anomalía apagar el variador 6 Revisar puesta a tierra

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C
Elaboración propia 2017

Auditoria

El objetivo de la auditoria es monitorear específicamente el cumplimiento de la metodología y el contenido RCM. En la siguiente cita se detalla este análisis:

“Un análisis RCM necesita ser auditado desde el punto de vista del método y del contenido. Cuando se revisa el método aplicado, el auditor verifica que el proceso RCM haya sido aplicado correctamente. Cuando se revisa el contenido, el auditor verifica que se haya reunido la información correcta y que se haya sacado las conclusiones correctas, ambas cosas desde el punto de vista del activo y del proceso del que forma parte.” (Moubray John 2004: 219)

El análisis que se le realiza a los activos se debe llevarse a cabo a un nivel adecuado, no se debe caer en el error de analizar los activos en un nivel muy bajo. Entonces, en esta etapa se debe describir todas sus funciones de forma clara y correcta para que se pueda tener un entendimiento claro de los activos, desde su contexto operacional actual, y no su capacidad de diseño

Las fallas funcionales asociadas a cada función deben ser listadas detalladamente y asegurarse que no se haya omitido ningún modo de falla que haya ocurrido en el pasado con probabilidad que vuelva a ocurrir.

Para la auditoria de RCM en la empresa Bozovich se ha diseñado un formato con una serie de preguntas en base al libro de Moubray John 2004: 219-222 para identificar los parámetros de la auditar. Las preguntas serán evaluadas de acuerdo a una puntuación, esta puntuación final arrojará el nivel de satisfacción en porcentaje, estos resultados ayudarán a tomar decisiones con medidas correctivas o proactivas. Este formato permitirá recolectar información vital para el proceso de mejora continua. Ver tabla 106

Tabla 106: Formato para Auditoría RCM

BOZOVICH <small>tu fuente responsable de madera</small>		AUDITORÍA RCM				
Nombre de los Integrantes		Cargo:	Descripción			
1		Gerente Operaciones	Fecha de la auditoría:			
2		Jefe de producción	Fecha del reporte:			
3		Operador de máquina	Nombre del sistema:			
4		Gerente de mantenimiento	Nombre del sub-sistema:			
5		Coordinador de mantenimiento	Nombre de la máquina:			
6		Técnico de mantenimiento				
RUBRO DE LA EMPRESA						
Maderera Bozovich S.A.C. se encuentra ubicada en el distrito de Lurín. Grupo empresarial con más de 60 años de experiencia en la extracción, transformación y distribución de productos de maderas finas alrededor del mundo.						
METODOLOGÍA DE LA AUDITORIA						
En la tabla de puntuación se evalúa el nivel de satisfacción de cada una de las preguntas que han sido seleccionados para realizar la auditoría. Después de evaluar el nivel de satisfacción, se realizarán las acciones correctivas de acuerdo al porcentaje de evaluación. Los comentarios de las evidencias sirven para detallar el estado en que se encontraron las preguntas.						
Descripción	Puntuación Muy bajo - 1 2 3 4 5 - Excelente					Puntuación Total
	1	2	3	4	5	
FUNCIONES						0
FALLAS FUNCIONALES						0
MODOS DE FALLA						0
EFFECTOS DE FALLA						0
EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS						0
SELECCIÓN DE TAREAS						0
DESCRIPCIÓN DE LAS TAREAS						0
Porcentaje optimo	35 puntos es = 100%	Porcentaje real	0%	Puntuación total		0
FUNCIONES	FALLAS FUNCIONALES	MODOS DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA	EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS	SELECCIÓN DE TAREAS	DESCRIPCIÓN DE LAS TAREAS
¿las funciones del activo están descritas de manera clara y correcta?	¿están listadas las fallas funcionales asociadas a cada función?	¿se aseguro que no se haya omitido ningún modo de falla que haya ocurrido en el pasado o que tenga posibilidad de ocurrir?	¿los efectos es también descritos? ¿los efectos de la falla afectan a la seguridad? ¿se indica el tiempo probable más que el tiempo de reparación? ¿Qué se debe hacer para ratificar la falla?	¿es evidente para los operarios la perdida de función causada por este modo de falla?	¿las tareas se han seleccionado para satisfacer los criterios técnicos y factibles? ¿las tareas eliminan o minimizan las consecuencias de la falla? Usar formato "Informe de mantenimiento"	¿las tareas propuestas se han descrito con suficiente detalle para que no quede ninguna duda acerca de lo que se debe hacer?
EVIDENCIAS DE LA AUDITORÍA						
Comentarios de las funciones	Comentarios de las fallas funcionales	Comentarios de los modos de falla	Comentarios de los efectos de falla	Comentarios de la evaluación de las consecuencias	Comentarios de la selección de tareas	Comentarios de la descripción de las tareas

Fuente: Elaboración propia 2017 adaptado de Moubray John 2004: 219-222

Después, que el equipo RCM haya culminado con la auditoria se analizará el nivel de satisfacción de la máquina auditada, luego se procederá a la actualización la hoja de decisión y la hoja de información.

Políticas para las reuniones de RCM

Para mantener la disciplina del equipo, se ha desarrollado nueve parámetros que cada uno de los integrantes debe cumplir. Asimismo, se ha elaborado un diagrama de flujo que detalla las responsabilidades del equipo y un formato donde quedará registrado la asistencia de los miembros del equipo. Ver figura 72 y tabla 107

- I. Es responsabilidad de todos los integrantes asistir a las reuniones a la hora y fecha acordada. Si hubiera algún cambio en la fecha y hora acordada, el líder informara a los integrantes con anticipación.
- II. En el supuesto caso que la reunión no se pueda culminar en la hora establecida y no se llegara a un acuerdo para extender el tiempo, el facilitador podrá posponer la reunión para otro día.
- III. En la reunión el facilitador deberá dar prioridad a los puntos más importantes y en el supuesto caso que no se logre ver los demás puntos programados, el facilitador deberá programar otra reunión para concluir con los puntos acordados.
- IV. Cuando un integrante no pueda asistir a la reunión, debe comunicar con una hora de anticipación vía email al facilitador con copia a todos los integrantes.
- V. La reunión cambiara de fecha por día festivo o por ausencia del facilitador.
- VI. Está prohibido los celulares (chatear o recibir llamadas) u otros dispositivos que puedan generar distracción; las laptops serán utilizadas únicamente para temas de RCM.
- VII. Cualquier aporte que se realice durante la reunión deberá estar relacionado con la metodología RCM.
- VIII. Las reuniones tendrán una duración de alrededor de tres horas con una frecuencia de una a cinco veces por semana de acuerdo la metodología RCM.
- IX. Las faltas a las reuniones se penalizara de acuerdo a lo siguiente:
 - Por una falta es una amonestación verbal
 - Por dos faltas una amonestación escrita
 - Por tres (acumulativo) faltas una suspensión de tres días sin gocé de haberes.

Figura 72: Flujoograma de reuniones RCM

Fuente: Elaboración propia 2017

Tabla 107: Control de asistencia del equipo RCM

MADERERA BOZOVICH SAC - UNIDAD PRODUCTIVA LIMA		Código:	1
				Versión:	0
Control de asistencia				Fecha:	
				Página 1 de 1	
Datos de la organización					
MADERERA BOZOVICH S.A.C.		RUC	Actividad económica		
Inducción	Taller	Capacitación	Entrenamiento	Charla	
Tema					
Fecha					
Nombre del capacitador				N° Horas	
Apellidos y nombres		N° DNI	Área	Firma	
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
Responsable del registro					
Apellidos y nombres			Cargo		
Fecha			Firma		

Fuente: elaboración propia 2017

Implementación de las acciones correctivas para mejorar el plan

Como parte de la mejora continua se han elaborado formatos, como las hojas de chequeo en la cual el operador de cada máquina deberá de marcar y anotar las incidencias presentadas en la operación del equipo. Ver tablas Las tablas 108, 109, 110 y 11

Tabla 108: Formato de chequeo Moldurera

HOJA DE CHEQUEO										
Código de equipo:						Responsable Mantenimiento:				
Nombre del equipo: Moldurera										
Frecuencia: Semanal						Fecha:				
Marcar los casilleros de la derecha que describan la condición de los componentes mostrados en la columna de la izquierda.	Correcto	Requiere lubricación	Requiere calibración	Requiere reemplazo	Requiere limpieza	Excesiva vibración	Excesivo calor	Cambiar fajas, sellos y/o empaquetaduras	Ver comentarios adicionales	
A Elemento de mando de la máquina:										
1 Interruptor principal en la armario de mando										
3 Panel de mando con tecla de parada de emergencia										
4 Panel de mando del sistema neumático										
5 Panel de mando en la consola con tecla de parada de emergencia										
Contador línea (ML y Horometro)										
B Conducción de Piezas										
6 Mesa de salida										
7 Mesa de alimentacion										
8 Guia enderezadora										
9 Mesa de la maquina										
10 Tope de la maquina										
11 Grupo de avance (cardanes)										
C Husillos										
12 Husillo inferior										
13 Husillo derecho										
14 Husillo izquierdo										
15 Husillo derecho										
16 Husillo superior										
17 Husillo inferior										
16 Husillo superior										
18 Husillo universal										
D Opciones de Maquina										
20.1 Prensor 1										
20.2 Prensor 2										
20.3 Jointer										
E Componentes protegidos para la prevencion accidentes										
21 Puerta del armario de distribución, en función de la ejecución, bloqueado mediante interrupto principal en la posicion "I"										
22 Capota de la maquina(retirada en la figura), bloqueada durante el servicio automatico										
F Alimentador Automático EM11										
Rueda de arrastre										
Palanca de cambio de posición										
Válvula de accionamiento por rodillo										
Comentarios Adicionales										

Fuente: Elaboración propia 2017

Tabla 109: Formato de chequeo Optimizadora

Hoja de chequeo									
Código de equipo:					Responsable Mantenimiento:				
Nombre del equipo: Optimizadora									
Frecuencia: Quincenal (sábados)					Fecha:				
<p>Marcar los casilleros de la derecha que describan la condición de los componentes mostrados en la columna de la izquierda.</p>	Correcto	Requiere Lubricación	Requiere calibración	Requiere reemplazo	Requiere limpieza	Excesiva vibración	Excesivo calor	Cambiar sellos y/o empaquetaduras	Ver Comentarios Adicionales
1.- Sistema de corte:									
A. Sierra Circular									
B. Guías de aluminio									
C. Piston de sierra circular									
D. Rodillos de presion									
E. Rodillo Encoder									
2.- Sistema de extracción de aserrín:									
A. Manifolds de escape de aserrín									
B. Mangueras de extraccion de aserrin.									
3.- Sistema de transporte:									
A. Faja transportadora de ingreso									
B. Faja transportadora de salida									
C. Rodillos de arrastre									
D. Variador de velocidad									
4.- Sistema de lubricación:									
A. Depósito de aceite									
B. Lubricador automático									
5.- Tablero de control:									
A. LED's									
B. Botones de mando									
C. Palanca de encendido									
D. Horometro.									
Comentarios adicionales									

Fuente: Elaboración propia 2017

Tabla 110: Formato de chequeo Cepilladora

Hoja de chequeo									
Código de equipo:					Responsable Mantenimiento:				
Nombre del equipo: Cepilladora Extend Light 01									
Frecuencia: Quincenal (sábados)					Fecha:				
<p>Marcar los casilleros de la derecha que describan la condición de los componentes mostrados en la columna de la izquierda.</p>	Correcto	Requiere Lubricación	Requiere calibración	Requiere reemplazo	Requiere limpieza	Excesiva vibración	Excesivo calor	Cambiar sellos y/o empaquetaduras	Ver Comentarios Adicionales
1.- Sistema de corte:									
A. Motor principal									
B. Cabezal superior									
C. Cabezal inferior									
D. Plato presor									
E. Presor de madera									
2.- Sistema de extracción de aserrín:									
A. Manifolds de escape de aserrín									
B. Mangueras de extracción de aserrín.									
3.- Sistema de transporte:									
A. Motor de la cadena									
B. Cadena de avance									
C. Rodillos segmentados de avance									
D. Rodillos de avance									
4.- Sistema de lubricación:									
A. Depósito de aceite									
B. Lubricador automático									
5.- Tablero de control:									
A. LED's									
B. Botones de mando									
C. Palanca de encendido									
D. Horometro.									
Comentarios adicionales									

Fuente: Elaboración propia 2017

Tabla 111: Formato de chequeo Retestadora

Hoja de chequeo									
Código de equipo:					Responsable Mantenimiento:				
Nombre del equipo: Retestadora GMC									
Frecuencia: Quincenal (sábados)					Fecha:				
<p>Marcar los casilleros de la derecha que describan la condición de los componentes mostrados en la columna de la izquierda.</p>	Correcto	Requiere Lubricación	Requiere calibración	Requiere reemplazo	Requiere limpieza	Excesiva vibración	Excesivo calor	Cambiar sellos y/o empaquetaduras	Ver Comentarios Adicionales
A Sistema de corte:									
1 Sierras Circulares (hembra)									
2 Sierras Circulares(macho)									
3 Cabezal fijo (macho)									
4 Cabezal movil (macho)									
5 Cabezal fijo (hembra)									
6 Cabezal movil (hembra)									
B Sistema de extracción de aserrín:									
7 Manifolds de escape de aserrín									
8 Mangueras de extraccion de aserrín.									
C Sistema de transporte:									
9 Motor de la cadena									
10 Cadena de avance									
11 Brazos de transporte									
D Sistema de lubricación:									
12 Depósito de aceite									
13 Lubricador automático									
14 Puntos de lubricacion									
E Tablero de control:									
15 LED's									
16 Botones de mando									
17 Palanca de encendido									
Comentarios adicionales									

Fuente: Elaboración propia 2017

La implementación de las medidas correctivas se realizara después que el equipo RCM haya culminado con la auditoria. En este punto se analizara el nivel de satisfacción de la máquina auditada para que luego se proceda a la actualización la hoja de decisión y la hoja de información.

Los formatos de apoyo para las medidas correctivas son:

- El formato de ficha técnica que se utiliza para describir las características de la máquina, como largo, ancho, altura, peso, tipo de motor, mecanismos de lubricación, marca, etc.
- En el formato hoja de vida se detallara la localización de la avería, el tipo de mantenimiento que se va a ejecutar, las horas de trabajo y su costo, el costo de los repuestos, etc.
- En el formato reporte de novedad se detallara, el tipo de problema del equipo y su criticidad, el tipo de mantenimiento que se va a realizar, el mecanismo que se va a reparar o cambiar, etc.
- En el formato de solicitud de servicio de mantenimiento, se detallara el trabajo que se le va a realizar a la máquina (ajuste, desmontaje, reparación, etc.) y el responsable del trabajo.
- En el formato de orden de trabajo se detallara el tipo de trabajo, el costo de la mano de obra la cantidad de repuestos con su respectivo costo y el tipo de mantenimiento.
- En el formato informe de mantenimiento se detallara el tipo de mantenimiento y las tareas de mantenimiento realizadas.

Los siguientes formatos ayudaran a recolectar información que quedara como historial para analizarlo en el futuro.

Tabla 112: Formato ficha técnica de la máquina

<div>BOZOVICH tu fuente responsable de madera</div>		MANTENIMIENTO MECÁNICO INDUSTRIAL			
		FICHA TÉCNICA			
Maquina-Equipo:		Marca:		Código:	
Serie No:		Modelo:		Tipo:	
Ubicación (sistema):		Sección (subsistema):		F. Recepción:	
Fabricante:		Dirección:		Teléfono:	
Representante:		Dirección:		Teléfono:	
Características Generales					
Peso:		Altura:	Ancho:	Largo:	
Capacidad de Trabajo:					
Equipo-herramientas-Accesorios:					
Elemento	Marca	Referencia	Cantidad	Observaciones	
Motores Eléctricos		Características Técnicas			
Ubicación	Marca	Potencia Hp	Voltaje	Amperaje	Revolución
Lubricación					
Mecanismo	Marca	Referencia	Cantidad	OBSERVACIONES	
Características técnicas					
Ejecutado por:					

Fuente: Elaboración propia 2017

Tabla 113: Formato hoja de vida de la máquina

MANTENIMIENTO MECÁNICO INDUSTRIAL													
		HOJA DE VIDA													
Maquina-Equipo						Marca				Código		Serie			
Modelo			Tipo				Ubicación (sistema)			Sección (subsistema)			Capac Trabajo		
Fecha	Localización de la avería			Orden N°	Mecanismo	Tipo de MTO			Descripción del Trabajo		Hrs Maquina Parada	Costo Mano de Obra	Costo Repuestos	Costo Total	
	A	B	C	D	E	F			1	2	3				
Leyenda							Observaciones								
A: Mecánico		1: Mantenimiento Preventivo													
B: Eléctrico		2: Mantenimiento Correctivo													
C: Electrónico		3: Otros													
D: Neumático															
E: Hidráulico															
F: Otro															
Ejecutado por:															

Fuente: Elaboración propia 2017

Tabla 114: Formato de reporte de novedad

MANTENIMIENTO MECÁNICO INDUSTRIAL												
		REPORTE DE NOVEDAD												
Reporte N°				Departamento:					Fecha					
Máquina/Equipo				Marca					Código					
Ubicación (sistema):				Sección (subsistema)					Serie					
Mantenimiento	Preventivo		Correctivo		Otro		Problema		Eléctrico			Electrónico		Otro
Criticidad	Alta		Media		Baja		Turno	A		B		C		
Mecanismo														
Descripción general de la falla o avería														
Observaciones														
Ejecutado por:								Recibió:						

Fuente: Elaboración propia 2017

Tabla 115: Formato de solicitud de servicio de mantenimiento

MANTENIMIENTO MECÁNICO INDUSTRIAL											
				SOLICITUD DE SERVICIO DE MANTENIMIENTO											
Solicitud N°				Departamento						Fecha					
Maquina/Equipo				Marca						Código					
Ubicación (sistema):				Sección (subsistema):						serie					
Mantenimiento	Preventivo		Correctivo		Otro		Problema	Mecánico		Eléctrico		Electrónico		Otro	
Criticidad	Alta		Media		Baja		Turno	A		B		C			
Mecanismo															
Servicio solicitado	Solicitante	Responsable		Descripción del trabajo											
Revisión															
Ajuste															
Desmontaje															
Reparación															
Lubricación															
Traslado															
Reforma															
Proyecto															
Adecuación															
Pintura															
Limpieza															
Observaciones															
Ejecutado por:							Recibido por:								

Fuente: Elaboración propia 2017

Tabla 116: Formato de orden de trabajo

MANTENIMIENTO MECÁNICO INDUSTRIAL											
				ORDEN DE TRABAJO											
Orden de trabajo N°				Reporte N°			Fecha			Departamento					
Máquina/Equipo							Marca			Código					
Ubicación (sistema)							Serie			Sección (subsistema)					
Mantenimiento	Preventivo		Correctivo		Otro		Problema	Mecánico		Eléctrico		Electrónico		Otro:	
Criticidad	Alta		Media		Baja		Turno		A			B			C
Fecha de inicio							Fecha de termino								
Descripción general del trabajo							Costo de mantenimiento								
							Mano de Obra		Repuestos						
							Costo total	Hrs	Descripción			Unid	Costo total		
Observaciones:															
Ejecutado por:										Fecha					

Fuente: Elaboración propia 2017

<div>BOZOVICH tu fuente responsable de madera</div>						MANTENIMIENTO MECÁNICO INDUSTRIAL									
INFORME DE MANTENIMIENTO															
Informe							Departamento					Fecha			
Máquina/Equipo							Sección (subsistema)		Marca			Código			
Ubicación (sistema)								Serie							
Mantenimiento	Preventivo		Correctivo		Otro		Problema	Mecánico		Eléctrico		Electrónico		Otros	
Criticidad	Alta		Media		Baja		Turno			A		B		C	
Mecanismo															
Fecha		Descripción de las actividades de mantenimiento						Por realizar				Realizadas			
Observaciones:															
Ejecutado por:								Fecha							

214

Conclusiones del capítulo 3

- En cuanto a la metodología empleada para el desarrollo del sistema de gestión de mantenimiento, se puede decir que en los 8 pasos se definieron los aspectos fundamentales para la aplicación de RCM.
- En el paso cuatro, de todo el universo de producción se identificó el sistema con más índice de paradas de máquina y en el paso 5 se determinó el subsistema con sus respectivas máquinas. Con respecto a las máquinas se analizó su criticidad en función a una herramienta del RCM.
- En el paso 8 se clasifico todos los modos falla basándose en el nivel de probabilidad de riesgo. Para esta selección se utilizó el diagrama de Pareto como herramienta de apoyo, todos los modos de falla dentro del 80% se le realizó AMEF, la hoja de decisión y la hoja de información.
- El plan de mantenimiento de las máquinas críticas se hizo en base a la hoja de decisión y la hoja de información.
- La propuesta de mejora para la gestión de mantenimiento de las máquinas que intervienen en la fabricación de pisos mediante la metodología del RCM, será una guía para poder aplicarla en todas las demás máquinas de la empresa.

CAPITULO 4: VALIDACION DE LA SOLUCION DE INGENIERIA

SIMULACION DEL PROYECTO

Validación de la propuesta

Dentro del proceso de atención de requerimientos de servicio por parte de las áreas productivas (transformación secundaria, secado, transformación avanzada y línea de barniz) hacia el área de mantenimiento, se deben estandarizar métodos y procedimientos de tareas, con la finalidad de manejar datos históricos reales, esto nos permitirá el uso de indicadores y con ello minimizar la baja disponibilidad de los equipos. Es sabido que la metodología de RCM permitirá capacitar a los técnicos y operarios de las máquinas, con el fin de que se respeten los parámetros estandarizados.

Es por ello, que la simulación de implementación de RCM se realizara en el software de Arena, ya que es un programa de simulación que nos permite un mejor entendimiento del sistema y sus características, asimismo realiza automáticamente diferentes análisis de comportamiento.

Propuesta de simulación

Para la validación de la propuesta se va comparar el número de atenciones en el periodo de 30 días y los tiempos medios para reparar, cabe resaltar que este análisis se realizar del proceso de atención de reparación de máquina

Figura 73: Flujograma de proceso de atención de mantenimiento

Elaboración Propia 2017
Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Se tiene el porcentaje de notas de servicio que se derivan a un servicio externo.

Tabla 118: Porcentaje de derivación de notas de servicio

Nota de Servicio.	Porcentaje
Orden de Trabajo interna	90%
Orden de Trabajo externa	10%

Elaboración Propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

1. Se tiene el porcentaje de tipos de Fallas que se presentan

Tabla 119: Porcentaje de tipos de Fallas

Tipos de Fallas	Porcentaje
Mecánica	45%
Eléctrica	33%
Electrónica.	22%

Elaboración Propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

2. Se tiene el porcentaje de fallas que se atienden en el taller o el campo

Tabla 120: porcentaje de fallas que se atienden en el taller o el campo

Atención de Falla	Porcentaje
Taller	10%
Campo	90%

Elaboración Propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

3. Se tiene el porcentaje de fallas que fueron aprobadas por el supervisor

Tabla 121: Porcentaje de Fallas que fueron aprobadas por el supervisor

Aprobación de Falla	Porcentaje
Aprobado	90%
No Aprobado	10%

Elaboración Propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

4. Se tiene el siguiente personal en la actualidad

Tabla 122: Se tiene el siguiente personal en la actualidad

Personal	Cantidad
Asistente de Mantenimiento	1
Jefe de Mantenimiento.	1
Técnico Mecánico.	4
Técnico Eléctrico.	2
Técnico Electrónico	1
Supervisor.	1

Elaboración Propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Lista de Variables aleatorias relacionadas al área de mantenimiento

1. **Tiempo entre generación de notas de servicio debido a incidencias:** Es el tiempo entre generación de Notas de servicio debido a un desperfecto en algunos de los equipos de planta.
2. **Tiempo de recepción de la nota de servicio:** Es el tiempo que tarda en decepcionar la Nota de Servicio por el Asistente de Mantenimiento.
3. **Emisión de la orden de trabajo (OT):** Es el tiempo en el cual se genera la orden de trabajo por el Jefe de Mantenimiento.
4. **Evaluación del problema:** Es el tiempo que le toma al técnico designado evaluar el incidente o falla para su reparación.
5. **Emisión de la OT a externos:** Es el tiempo en el cual se emiten las órdenes de trabajo a terceros, siempre y cuando exista la decisión de prestar el servicio
6. **Selección del área y designación del personal:** Indica el tiempo en el cual se selecciona el lugar y personal competente para realizar el trabajo
7. **Reparación en campo de falla mecánica:** Indica el tiempo de reparación de Falla Mecánica en el mismo centro de trabajo, estos se ejecutan en lugares especiales
8. **Reparación en campo de falla eléctrica:** Indica el tiempo de reparación de Falla Eléctrica en el mismo centro de trabajo, estos se ejecutan en lugares especiales
9. **Reparación en campo de falla electrónica:** Indica el tiempo de reparación de Falla Electrónica. en el mismo centro de trabajo, estos se ejecutan en lugares especiales
10. **Reparación en taller de falla mecánica:** Es el tiempo que se demora y registra por cada tipo de falla mecánica en función a cada equipo
11. **Reparación en taller de falla eléctrica:** Es el tiempo que se demora y registra por cada tipo de falla eléctrica en función a cada equipo
12. **Reparación en taller de falla electrónica:** Es el tiempo que se demora y registra por cada tipo de falla electrónica en función a cada equipo
13. **Prueba del equipo:** Es el tiempo en el cual se prueba el equipo ya reparado por los responsables del área de mantenimiento.
14. **Evaluación de servicio:** Es el tiempo en el cual el Supervisor del área de Producción evalúa y decepciona el equipo reparado.

A continuación, se detalla las variables del flujo de proceso de mantenimiento. Esta información se recopiló de la base de datos del historial de mantenimiento que actualmente cuenta la empresa.

Tabla 123: Variables de flujo de proceso

Tiempo entre generación de Notas de servicio debido a incidencias en horas	Tiempo de recepción de la Nota de servicio en minutos	Emisión de la orden de trabajo (OT) en minutos	Evaluación del problema en minutos	Emisión de la OT a externos en minutos	Selección del área y designación del personal en minutos	Reparación en campo de Falla Mecánica en minutos
0.38	2.05	3.44	17.81	6.77	12.19	131.28
0.13	1.34	5.18	18.55	4.99	12.86	122.35
0.08	2.32	2.99	17.75	4.29	8.77	137.45
1.44	2.53	5.29	16.64	5.68	13.23	124.96
0.64	2.11	4.21	17.05	4.21	8.39	120.86
0.49	2.19	3.74	16.84	5.71	9.6	137.62
1.12	1.6	5.37	15.67	3.8	10.17	127.17
2.44	1.85	4.01	18.06	4.35	8.1	135.62
0.15	1.85	4.84	15.47	6.75	10.05	124.57
0.29	2.71	4.02	17.48	6.41	12.05	121.44
0.23	2.15	4.48	16.47	3.89	12.77	129.03
0.32	1.89	5.28	17.54	3.96	10.28	121.27
0.42	2.83	3.91	17.33	5.16	9.64	133.62
5.84	1.56	4.22	16.47	6.26	10.34	135.39
0.67	2.36	4.51	18.88	5.57	6.47	128.97
3.2	1.85	4.22	16.68	5.5	11.57	124.4
0.13	2.03	3.99	18.2	6.08	5.94	139.55
0.46	2.09	3.01	16.03	5.12	6.23	123.94
5.92	2.27	3.71	16.66	6.56	10.58	133.91
1.12	2.64	4.35	15.61	3.61	10.55	134.27
0.99	2.48	4.16	16.02	5.06	14.23	128.25
1.19	2.16	4.16	18.2	5.01	8.41	137.83
2.23	1.66	4.27	16	4.95	9.48	120
1.75	1.89	3.79	18.83	4.89	9.93	139.33
1.46	2.48	3.22	17.27	5.42	8.53	125.11
1.57	1.75	4.5	16.99	5.48	9.24	128.08
1.07	2.35	4.58	16.88	4.67	8.96	137.7
0.33	1.52	5.31	16.03	3.76	12.5	134.63
1.89	1.98	3.54	16.41	6.01	7.99	132.89
2.51	2.68	5.32	18.67	6.05	11.08	128.69
2.06	2.27	5.08	15.97	7.13	10.42	127.04
1.7	2.44	2.51	16.31	4.57	5.58	132.24
1.65	2.84	3.79	16.86	5.13	6.81	127.3
0.19	1.56	5.65	17.69	3.71	8.6	122.35
0.49	2.28	4.53	17.76	4.83	10.53	127.14
0.23	1.53	5.39	17.45	7.64	9.54	121.66
3.93	1.96	5.82	16.11	4.35	14.13	127.48
0.14	2.14	4.37	16.36	3.55	8.86	120.32
0.09	2.21	3.71	17.32	5.56	8.5	127.55
0.79	1.66	4.63	16.95	6.23	10.29	126.03
2.13	1.94	4.72	17.53	5.15	12.11	124.6
0.54	2.2	2.42	16.89	6.06	10.61	120.95
1.03	2.07	3.49	16.96	7.16	9.47	132.05
0.17	2.78	2.98	16.57	6.66	13.05	136.34
0.41	2.19	3.94	16.69	6.8	10.67	121.79
0.05	2.41	3.78	16.31	5.15	9.4	134.63
1.73	1.47	2.98	16.48	5.04	7.5	128.34
0.55	2.38	5.04	16.27	6.16	8.99	124.32
2.21	1.42	3.47	17.82	4.16	9.22	135.66
0.39	1.82	4.05	16.98	5.31	9.18	122.54

Elaboración Propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Tabla 124: Variables de flujo de proceso (continuación)

Tiempo entre generación de Notas de servicio debido a incidencias en horas	Tiempo de recepción de la Nota de servicio en minutos	Emisión de la orden de trabajo (OT) en minutos	Evaluación del problema en minutos	Emisión de la OT a externos en minutos	Selección del área y designación del personal en minutos	Reparación en campo de Falla Mecánica en minutos
1.48	1.6	2.99	17.06	7.08	9.97	124.43
1.2	2.47	3.75	17.24	4.04	10.04	128.76
0.24	2.4	4.93	17.46	5.83	14.16	138.07
0.82	1.99	3.48	15.2	4.02	9.65	132.41
0.47	2.24	3.18	16.63	5.16	6.02	129.56
4.88	1.14	5.66	17.93	4.66	12.17	125.31
0.76	1.19	5.37	18.8	5.55	9.29	125.13
1.04	2.5	5.19	17.15	5.71	8.25	123.19
2.13	1.66	3.92	15.66	6.74	10.51	133.76
1.59	1.82	3.81	16.78	5.33	7.83	128.67
1.28	2.09	5.03	16.91	5.95	10.29	133.71
0.97	2.38	4.09	16.08	7.67	8.46	126
0.09	2.14	4.73	17.14	7.61	9.1	135.31
0.01	2.4	4.03	18.46	3.75	10.2	121.86
0.48	1.8	4.06	15.68	3.99	9.55	129.57
1.49	1.6	3.59	17.91	6.01	9.99	121.81
0.32	2.31	4.4	15.74	5.72	11.14	138.06
0.41	1.79	4.53	17.37	5.62	10.33	137.06
1.1	2.63	3.33	15.64	4.15	10.47	128.3
0.45	1.96	2.49	16.16	4.44	12.1	120.12
0.06	1.95	3.01	17.47	4.81	6.36	137.14
0.72	1.3	5.84	16.54	6.66	6.82	139.67
5.85	1.59	3.45	18.04	5.26	10.25	138.62
0.02	2.31	3.95	18.67	5.43	9.84	136.26
0.44	1.88	4.76	17.04	4.1	11.86	122.7
0.23	1.54	2.62	17.55	4.42	7.68	122.92
0.38	2.16	5	17.21	4.83	10.58	122.55
2.22	2.13	4.56	16.35	5.58	8.48	121.67
0.95	2.34	2.78	18.38	4.81	10.74	133.42
0	1.26	4.7	16.49	4.33	11.16	131.71
0.03	2.64	5.36	17.08	5.9	6.48	139.17
1.03	2.11	3.37	18.39	5.52	12.76	135.08
1.89	1.68	2.94	16.15	5.16	14.38	129.8
1.47	2.78	3.03	16.7	4.59	13.54	131.46
0.73	1.81	4.25	18.4	5.44	10.73	132.82
2.62	2.05	3.37	16.96	4.09	10.53	130.38
0.86	2.11	4.59	17.94	3.59	10.38	133.36
1.9	1.62	3.89	16.49	5.41	13.21	129.94
0.62	1.45	3.71	16.11	4.74	8.35	127.4
0.2	2.06	3.92	16.55	6.39	11.24	124.06
1.84	2.06	3.2	15.3	4.47	8.47	124.93
5.08	1.83	3.63	16.68	6.21	8.26	134.07
0.7	2	3.19	16.08	3.3	8.75	138.9
0.62	1.25	3.41	16.63	5.48	11.87	134.89
0.09	2.39	2.5	18.33	5.7	8.98	139.98
0.06	2.04	4.2	17.63	5.08	11.9	126.26
1.12	1.35	3.61	18.53	5.98	9.62	125.97
0.96	2.68	4.13	17.3	4.8	10.18	138.57
0.06	1.98	4.18	18.03	5.31	9.89	128.71
0.1	1.31	3.79	16.68	7.25	7.06	129.34

Elaboración Propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Tabla 125: Variables de flujo de proceso (continuación)

Reparación en campo de Falla Eléctrica en minutos	Reparación en campo de Falla Electrónica en minutos	Reparación en taller de Falla Mecánica en minutos.	Reparación en taller de Falla Eléctrica en minutos.	Reparación en taller de Falla Electrónica en minutos.	Prueba del equipo en minutos	Evaluación de Servicio en minutos
55.49	67.44	130.49	59.36	80.68	28.52	8.68
61.54	71.2	114.9	67.52	74.41	24.75	5.62
57.05	67.3	118.14	63.99	63.65	26.94	7.15
61.83	73.66	129.32	61.18	68.31	21.55	5.77
58.97	61.91	125.53	62.74	66.09	20.98	6.29
74.7	62.77	124.78	64.93	80.13	22.49	9.4
71.19	56.02	123.93	65.57	82.58	24.68	5.14
63.36	70.66	124.08	64.69	69.12	20.06	6.75
72.98	68.91	143.04	63.67	81.54	26.27	8.67
74.69	66.59	101.93	59.96	74.18	27.87	7.17
68.56	58.2	148.72	61.56	74.21	23.37	6
72.4	62.69	119.23	62.91	88.04	25.44	6.19
56.95	70.26	123.98	64.9	74.31	27.78	5.43
58.07	71.38	119.19	59.1	75.09	22.4	7.26
70.14	73.81	113.32	60.7	60.54	22.75	8.81
68.44	71.92	137.78	62.89	72.46	29.18	9.15
74.56	71.33	118.68	62.23	62.13	23.87	6.65
57.95	65.27	130.92	67.89	73.71	22.76	9.29
65.26	59.97	148.82	58.74	69.86	21.37	9.87
58.76	55.75	105.43	64.42	79.8	21.97	6.06
71.63	70.3	99.67	64.32	62.87	22.61	8.52
66.6	56.55	153.81	59.26	73.51	27.83	8.07
74.86	73.9	142.08	64.23	77.94	20.69	7.31
59.65	61.89	123	66.22	72.11	21.74	8.13
61.55	72.06	113.5	65.17	75.13	26.8	8.89
62.68	59.82	116.14	64.38	72.7	24.24	7.27
63.23	63.52	115.36	63.24	73.14	20.21	6.62
60.02	61.21	146.89	63.71	72.25	24.78	9.23
69.25	67.02	120.57	61.05	59.25	26.13	5.9
69.26	59.96	108.8	59.48	83.57	28.06	6.43
58.44	71.63	118.38	61.69	86.6	21.14	5.16
74.24	62.83	147.51	57.38	83.68	22.03	6.53
69.01	67.32	134.05	64.29	76.43	25.42	9.17
62.05	69.47	120.63	65.56	75.96	20.2	7.4
60.44	66.55	132.97	66.91	66.54	21.06	6.79
65.88	60.92	134.72	63.42	79.45	22.14	7.69
55.36	74.38	121.26	67.95	74.49	27.3	6.2
69.34	55.92	133.18	62.34	67.83	24.84	5.92
56.46	71.87	124.75	65.4	59.99	26.86	7.44
72.28	55.81	95.82	62.1	81.45	27.46	7.56
60.66	71.28	134	64.28	59.41	23.6	7.84
61.5	64.12	134.6	63.41	75.12	25.14	9.89
72.52	61.05	157.15	59.23	60.76	29.13	6.81
71.22	61.34	128.18	60.78	65.68	20.86	6.81
64.31	56.77	132.15	63.75	65.95	21.37	9.92
70	56.62	131.93	68.86	73.11	26.66	7.69
72.02	70.65	93.34	61.5	78.48	24.85	7.52
68.16	62.26	139.25	65.93	69.94	20.04	8.65
56.5	71.41	133.64	59.51	69.31	27.99	6.69
59.9	67.18	104.5	67.65	69.23	27.99	6.9

Elaboración Propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Tabla 126: Variables de flujo de proceso (continuación)

Reparación en campo de Falla Eléctrica en minutos	Reparación en campo de Falla Electrónica en minutos	Reparación en taller de Falla Mecánica en minutos.	Reparación en taller de Falla Eléctrica en minutos.	Reparación en taller de Falla Electrónica en minutos.	Prueba del equipo en minutos	Evaluación de Servicio en minutos
55.38	70.01	125.64	59.01	64.22	29.7	9.16
63.01	70.77	113.06	59.83	71.81	23.67	6.48
69.51	72.72	117.53	63.66	72.06	24.52	6.29
71.14	61.43	145.29	57.4	64.37	25.54	8.65
73.96	55.95	109.36	61.87	79.44	27.18	5.2
63.26	74.58	110.88	68.31	64.85	27.93	7.97
72.61	62.6	130.91	65.07	74.55	22.3	6.22
71.95	71.76	133.53	63.76	76.53	26.94	5.38
73.49	58.36	120.56	55.71	73.95	27.9	7.95
68.3	55.65	131.75	61.54	67.1	26.88	9.78
65.2	68.96	137.98	66.43	73.05	28.63	9.76
56.72	60.18	146.91	61.33	69.99	25.65	7.38
56.79	74.76	101.63	60.53	59.58	25.39	7.2
61.84	65.75	114.82	61.96	76.54	23.08	7.89
64.3	74.02	134.52	61.53	69.05	21.82	8.63
69.67	73.1	94.48	65.09	62.13	23.87	6.05
63.85	73.3	129.21	64.1	72.13	20.7	8.35
70	62.38	109.49	58.33	68.4	25.11	9.67
73.32	71.39	114.05	61.21	73.08	28.83	7.15
60.85	64.09	115.85	66.17	70.38	27.75	9.18
70.8	73.71	120.24	62.43	58.42	29.58	7.84
59.78	68.01	110.47	63.14	75.3	29.83	8.85
60.91	65.04	128.88	59.79	74.88	21.62	8.14
63.45	63.69	123.58	59.94	72.1	22.68	5.97
70.35	74.68	119.7	58.34	78.64	24.83	9.22
74.19	73.12	101.82	59.23	76.75	21.41	8.4
64.91	67.26	92.41	63.25	80.51	26.55	9.85
58.66	66.53	116.71	64.49	80.78	29.88	6.78
71.48	73.05	129.39	66.28	63.68	24.13	8.32
63.73	60.53	113.02	61.01	71.65	21.99	8.59
55.64	66.09	103.02	65.51	72.71	24.63	6.12
72.94	67.93	145.61	60.08	77.92	22.91	6.65
60.81	56.32	111.63	60.33	71.97	21.42	6.9
56.99	66.68	107.3	61.62	73.61	22.92	8.44
59.5	70.03	108.11	63.34	81.26	20.63	7.77
55.09	62.53	147.75	61	78.39	26	8.31
70.79	55.12	133.91	60.35	76.88	20.48	6.41
68.17	62.56	125.27	63.83	63.87	23.58	6.23
74.6	67.99	129.58	63.34	68.7	26.12	5.98
63.75	69.75	154.48	57.49	80.34	24.15	6.67
71.58	60.28	120.93	63.44	56.88	27.42	9.76
59.41	74.43	117.09	68.05	63.07	26.58	6.43
60.69	63.63	117.71	66.88	68.66	23.64	9.24
55.08	58.78	145.05	59.49	67.39	28.7	8.45
61	58.15	98.42	66.71	68.97	20.03	6.4
73.15	71.03	149.71	56.16	73.79	24.4	5.49
74.79	70.8	141.94	61.05	89.09	24.91	6.76
74.29	65.17	109.99	65.55	76.18	21.28	7.55
66.81	72.12	120.9	58.74	76.56	28.01	5.47
63.69	64.03	109.55	61.15	57.93	25.61	9.98

Elaboración Propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Ajuste de datos utilizando Input Analyzer del Arena.

X1: Tiempo entre generación de Notas de servicio debido a incidencias

Función Asignada: $-0.001 + \text{EXPO}(1.15)$

Gráfico 28: Función Asignada: $-0.001 + \text{EXPO}(1.15)$

Elaboración Propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Distribution Summary

Distribution: Exponential

Expression: $-0.001 + \text{EXPO}(1.15)$

Square Error: 0.002832

Chi Square Test

Number of intervals = 4

Degrees of freedom = 2

Test Statistic = 0.29

Corresponding p-value > 0.75

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.0527

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 100

Min Data Value = 0

Max Data Value = 5.92

Sample Mean = 1.15

Sample Std Dev = 1.28

Histogram Summary

Histogram Range = -0.001 to 6

Number of Intervals = 10

X₂: Tiempo de recepción de la Nota de servicio.

Función Asignada: TRIA (1, 2.1, 3)

Gráfico 29: Función Asignada: TRIA (1, 2.1, 3)

Elaboración Propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Distribution: Triangular

Expression: TRIA (1, 2.1, 3)

Square Error: 0.003531

Chi Square Test

Number of intervals = 6

Degrees of freedom = 4

Test Statistic = 3.09

Corresponding p-value = 0.546

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.0398

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 100

Min Data Value = 1.14

Max Data Value = 2.84

Sample Mean = 2.03

Sample STD Dev = 0.412

Histogram Summary

Histogram Range = 1 to 3

Number of Intervals = 10

X₃: Emisión de la orden de trabajo (OT)

Función Asignada: TRIA (2.07, 3.84, 6)

Gráfico 30: Función Asignada: TRIA (2.07, 3.84, 6)

Elaboración Propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Distribution: Triangular

Expression: TRIA (2.07, 3.84, 6)

Square Error: 0.002525

Chi Square Test

Number of intervals = 6

Degrees of freedom = 4

Test Statistic = 1.64

Corresponding p-value > 0.75

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.077

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 100

Min Data Value = 2.42

Max Data Value = 5.84

Sample Mean = 4.07

Sample STD Dev = 0.829

Histogram Summary

Histogram Range = 2.07 to 6

Number of Intervals = 10

X4: Evaluación del problema

Función Asignada: TRIA (15, 16.8, 19)

Gráfico 31: Función Asignada: TRIA (15, 16.8, 19)

Elaboración Propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Distribution: Triangular

Expression: TRIA (15, 16.8, 19)

Square Error: 0.004179

Chi Square Test

Number of intervals = 6

Degrees of freedom = 4

Test Statistic = 3.49

Corresponding p-value = 0.484

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.069

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 100

Min Data Value = 15.2

Max Data Value = 18.9

Sample Mean = 17

Sample STD Dev = 0.894

Histogram Summary

Histogram Range = 15 to 19

Number of Intervals = 10

X5: Emisión de la OT a externos

Función Asignada: TRIA (3, 5.25, 8)

Gráfico 32: Función Asignada: TRIA (3, 5.25, 8)

Elaboración Propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Distribution: Triangular

Expression: TRIA (3, 5.25, 8)

Square Error: 0.004927

Chi Square Test

Number of intervals = 6

Degrees of freedom = 4

Test Statistic = 3.7

Corresponding p-value = 0.458

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.0881

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 100

Min Data Value = 3.3

Max Data Value = 7.67

Sample Mean = 5.3

Sample STD Dev = 1.02

Histogram Summary

Histogram Range = 3 to 8

Number of Intervals = 10

X6: Selección del área y designación del personal

Función Asignada: NORM (9.93, 1.97)

Gráfico 33: NORM (9.93, 1.97)

Elaboración Propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Distribution: Normal

Expression: NORM (9.93, 1.97)

Square Error: 0.010723

Chi Square Test

Number of intervals = 6

Degrees of freedom = 3

Test Statistic = 5.4

Corresponding p-value = 0.16

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.0914

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 100

Min Data Value = 5.58

Max Data Value = 14.4

Sample Mean = 9.93

Sample STD Dev = 1.98

Histogram Summary

Histogram Range = 5 to 15

Number of Intervals = 10

X7: Reparación en campo de Falla Mecánica

Función Asignada: $120 + 20 * \text{BETA} (0.926, 0.996)$

Gráfico 34: Función Asignada: $120 + 20 * \text{BETA} (0.926, 0.996)$

Elaboración Propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Distribution: Beta

Expression: $120 + 20 * \text{BETA} (0.926, 0.996)$

Square Error: 0.007409

Chi Square Test

Number of intervals = 7

Degrees of freedom = 4

Test Statistic = 1.21

Corresponding p-value > 0.75

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.0413

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 100

Min Data Value = 120

Max Data Value = 140

Sample Mean = 130

Sample STD Dev = 5.85

Histogram Summary

Histogram Range = 120 to 140

Number of Intervals = 10

X8: Reparación en campo de Falla Eléctrica.

Función Asignada: UNIF (55, 75)

Gráfico 35: Función Asignada: UNIF (55, 75)

Elaboración Propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Distribution: Uniform

Expression: UNIF (55, 75)

Square Error: 0.011400

Chi Square Test

Number of intervals = 6

Degrees of freedom = 5

Test Statistic = 4.65

Corresponding p-value = 0.467

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.098

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 100

Min Data Value = 55.1

Max Data Value = 74.9

Sample Mean = 65.4

Sample STD Dev = 6.2

Histogram Summary

Histogram Range = 55 to 75

Number of Intervals = 10

X9: Reparación en campo de Falla Electrónica.

Función Asignada: $55 + 20 * \text{BETA}(1.06, 0.859)$

Gráfico 36: Función Asignada: $55 + 20 * \text{BETA}(1.06, 0.859)$

Elaboración Propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Distribution: Beta

Expression: $55 + 20 * \text{BETA}(1.06, 0.859)$

Square Error: 0.007690

Chi Square Test

Number of intervals = 7

Degrees of freedom = 4

Test Statistic = 2.19

Corresponding p-value = 0.703

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.0611

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 100

Min Data Value = 55.1

Max Data Value = 74.8

Sample Mean = 66

Sample STD Dev = 5.82

Histogram Summary

Histogram Range = 55 to 75

Number of Intervals = 10

X10: Reparación en taller de Falla Mecánica.

Función Asignada: TRIA (92, 122, 158)

Gráfico 37: Función Asignada: TRIA (92, 122, 158)

Elaboración Propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Distribution: Triangular

Expression: TRIA (92, 122, 158)

Square Error: 0.008105

Chi Square Test

Number of intervals = 6

Degrees of freedom = 4

Test Statistic = 1.85

Corresponding p-value > 0.75

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.0603

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 100

Min Data Value = 92.4

Max Data Value = 157

Sample Mean = 124

Sample STD Dev = 15

Histogram Summary

Histogram Range = 92 to 158

Number of Intervals = 10

X11: Reparación en taller de Falla Eléctrica.

Función Asignada: 55 + WEIB (8.59, 2.86)

Gráfico 38: Función Asignada: 55 + WEIB (8.59, 2.86)

Elaboración Propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Distribution: Weibull

Expression: 55 + WEIB (8.59, 2.86)

Square Error: 0.006568

Chi Square Test

Number of intervals = 7

Degrees of freedom = 4

Test Statistic = 3.92

Corresponding p-value = 0.431

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.068

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 100

Min Data Value = 55.7

Max Data Value = 68.9

Sample Mean = 62.7

Sample STD Dev = 2.94

Histogram Summary

Histogram Range = 55 to 69

Number of Intervals = 10

X12: Reparación en taller de Falla Electrónica.

Función Asignada: TRIA (56, 74.7, 90)

Gráfico 39: Función Asignada: TRIA (56, 74.7, 90)

Elaboración Propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Distribution: Triangular

Expression: TRIA (56, 74.7, 90)

Square Error: 0.004216

Chi Square Test

Number of intervals = 6

Degrees of freedom = 4

Test Statistic = 4.89

Corresponding p-value = 0.31

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.115

Corresponding p-value = 0.132

Data Summary

Number of Data Points = 100

Min Data Value = 56.9

Max Data Value = 89.1

Sample Mean = 72.1

Sample STD Dev = 7.06

Histogram Summary

Histogram Range = 56 to 90

Number of Intervals = 10

X13: Prueba del equipo

Función Asignada: UNIF (20, 30)

Gráfico 40: Función Asignada: UNIF (20, 30)

Elaboración Propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Distribution: Uniform

Expression: UNIF (20, 30)

Square Error: 0.006200

Chi Square Test

Number of intervals = 6

Degrees of freedom = 5

Test Statistic = 4.9

Corresponding p-value = 0.44

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.094

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 100

Min Data Value = 20

Max Data Value = 29.9

Sample Mean = 24.6

Sample STD Dev = 2.81

Histogram Summary

Histogram Range = 20 to 30

Number of Intervals = 10

X14: Evaluación de Servicio.

Función Asignada: UNIF (5, 10)

Gráfico 41: Función Asignada: UNIF (5, 10)

Elaboración Propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Distribution: Uniform

Expression: UNIF (5, 10)

Square Error: 0.005400

Chi Square Test

Number of intervals = 6

Degrees of freedom = 5

Test Statistic = 5.3

Corresponding p-value = 0.396

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.09

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 100

Min Data Value = 5.14

Max Data Value = 9.98

Sample Mean = 7.52

Sample STD Dev = 1.34

Histogram Summary

Histogram Range = 5 to 10

Number of Intervals = 10.

Funciones de distribución Asignadas mediante el Input Analyzer.

Tabla 127: Funciones de distribución asignadas

N°	Variable	Función
1	X₁ : Tiempo entre generación de notas de servicio debido a incidencias	-0.001 + EXPO(1.15)
2	X₂ : Tiempo de recepción de la nota de servicio.	TRIA(1, 2.1, 3)
3	X₃ : Emisión de la orden de trabajo (OT).	TRIA(2.07, 3.84, 6)
4	X₃ : Evaluación del problema	TRIA(15, 16.8, 19)
5	X₅ : Emisión de la OT a externos	TRIA(3, 5.25, 8)
6	X₆ : Selección del área y designación del personal.	NORM(9.93, 1.97)
7	X₇ : Reparación en campo de falla mecánica	120 + 20 * BETA(0.926, 0.996)
8	X₈ : Reparación en campo de falla eléctrica.	UNIF(55, 75)
9	X₉ : Reparación en campo de falla electrónica.	55 + 20 * BETA(1.06, 0.859)
10	X₁₀ : Reparación en taller de falla mecánico	TRIA(92, 122, 158)
11	X₁₁ : Reparación en taller de falla eléctrica.	55 + WEIB(8.59, 2.86)
12	X₁₂ : Reparación en taller de falla electrónica.	TRIA(56, 74.7, 90)
13	X₁₃ : Prueba del equipo	UNIF(20, 30)
14	X₁₄ : Evaluación de servicio.	UNIF(5, 10)

Elaboración Propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Simulación del proceso actual con el software de simulación arena

Se simula el proceso de mantenimiento de fallas. La entidad es la nota de servicio indicando la falla correspondiente, se desea disminuir el tiempo promedio en el que la falla es solucionada.

Figura 74: Simulación de proceso actual en Software Arena

Elaboración Propia 2017
Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Figura 75: Simulación de proceso actual en Software Arena (continuación)

Elaboración Propia 2017
Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Tabla 128: Recursos del sistema actual

Resource - Basic Process									
	Name	Type	Capacity	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	StateSet Name	Failures	Report Statistics
1 ▶	ASISTENTE MANTENIMIENTO	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	☒
2	JEFE MANTENIMIENTO	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	☒
3	TEC_MECANICO	Fixed Capacity	4	0.0	0.0	0.0		0 rows	☒
4	TEC_ELECTRICO	Fixed Capacity	2	0.0	0.0	0.0		0 rows	☒
5	TEC_ELECTRONICO	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	☒
6	SUPERVISOR	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	☒
Double-click here to add a new row.									

Elaboración Propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Se simularan 30 días, de 9.5 horas de trabajo, una réplica y se obtiene los siguientes resultados:

Figura 76: Resultado de simulación actual

Elaboración Propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Figura 77: Resultado de simulación de tiempos actual

Tally				
Interval	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
TIEMPO EN SISTEMA	3.6990	(Insufficient)	1.9643	12.9959
Counter				
Count	Value			
# MANTENIMIENTOS	206.00			

Elaboración Propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

De las tablas anteriores se puede concluir que las atenciones de las notas de servicio en el área de mantenimiento en el sistema demoran en promedio 3.6990 horas. Asimismo, el número de Notas de Servicio atendidas es de 206.

Simulación del proceso mejorado con el software de simulación arena

Se simula el proceso de atención de notas de servicio. La entidad es el nota de servicio, en el caso actual se tienen 4 Técnicos mecánicos, se desea disminuir el tiempo de atención de órdenes de servicio. En el caso mejorado se prueba con 4 técnicos adicionales

Figura 78: Simulación de proceso mejorado en Software Arena

Elaboración Propia 2017
Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Se asignan 4 Técnicos adicionales y veremos los resultados.

Tabla 129: Recursos del sistema propuesto

Resource - Basic Process								
	Name	Type	Capacity	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	StateSet Name	Failures
1	ASISTENTE MANTENIMIENTO	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows
2	JEFE MANTENIMIENTO	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows
3 ▶	TEC_MECANICO	Fixed Capacity	8	0.0	0.0	0.0		0 rows
4	TEC_ELECTRICO	Fixed Capacity	2	0.0	0.0	0.0		0 rows
5	TEC_ELECTRONICO	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows
6	SUPERVISOR	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows

Elaboración Propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Tabla 130: Resultado de simulación de tiempos propuesto

Tally				
Interval	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
TIEMPO EN SISTEMA	3.1981	(Insufficient)	2.0272	8.8094
Counter				
Count	Value			
# MANTENIMIENTOS	226.00			

Elaboración Propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Se puede ver qué la atención de las ordenes de servicio se demoraran en el sistema en promedio 3.1981 horas y el máximo valor es 8.8094 horas. El número de notas de servicio atendidas es 226.

Comparación de escenarios

Se realizaran diez replicas en cada escenario el actual y el mejorado ,para comparar los tiempos promedio que demora la atención de las ordenes de servicio y verificar si estadísticamente el tiempo de permanencia en el sistema disminuye con la asignación adicional de dos técnicos del servicio de mantenimiento mecánico.

Para la comparación de escenarios se ha ejecutado 10 réplicas de 30 días y 9.5 Horas cada una.

A continuación se muestra los datos de tiempo en días que pasa las notas de servicio en el sistema para el modelo actual así como para el modelo mejorado.

Comparación de escenarios de tiempos promedio de horas en atención de nota de servicio

Tabla 131: Comparación de escenarios

Replica	ACTUAL MODELO-1	MEJORADO MODELO-2
1	3.699	3.198
2	3.332	3.295
3	3.769	3.352
4	3.394	3.163
5	3.609	3.068
6	3.506	3.271
7	3.34	3.347
8	3.287	3.229
9	3.519	3.317
10	3.258	3.242

Elaboración Propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Utilizando el método T-Paried se ha realizado la comparación de ambos escenarios. Los resultados de esta prueba se muestran a continuación:

Tabla 132: Replicas de ambos escenarios

Replica	ACTUAL MODELO-1	MEJORADO MODELO-2	di	di^2
1	3.699	3.198	0.501	0.251
2	3.332	3.295	0.037	0.001
3	3.769	3.352	0.417	0.174
4	3.394	3.163	0.231	0.053
5	3.609	3.068	0.542	0.294
6	3.506	3.271	0.236	0.056
7	3.340	3.347	-0.007	0.000
8	3.287	3.229	0.058	0.003
9	3.519	3.317	0.202	0.041
10	3.258	3.242	0.016	0.000
		Suma	2.232	0.873
		promedio de 'd'	0.22321	

Elaboración Propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Fórmula para cálculo de la desviación estándar de las diferencias entre las observaciones pareadas

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum d_i^2 - n\bar{d}^2}{n-1}} =$$

Fórmula para cálculo de intervalos para la diferencia entre medias; observaciones pareadas

$$\mu_d = \bar{d} \pm t \frac{S_d}{\sqrt{n}}$$

Limite inferior=	0.22321	-	2.262	0.2040143	/	3.16227766	'=	0.07727711
Limite Superior=	0.22321	+	2.262	0.2040143	/	3.16227766	'=	0.36914289

0.22321 Intervalo [0.077277 , 0.3691429]

'==> La media del Modelo-1 es mayor que la del Modelo-2,

para un nivel de significancia del 5% , ya que el cero esta a la izquierda del intervalo

Tabla 133: Resultado de variables

alfa =	5%
n-1=	9
alfa / 2 =	2.50%
T(n-1, alfa/2)=	2.262
Sd =	0.20401

Elaboración Propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Se puede ver que el tiempo de atención de las notas de servicio en el sistema ha disminuido en el modelo mejorado con el aumento de cuatro técnicos mecánicos, lo que ocasionaría un aumento en la utilización de las máquinas.

Gráfico 42: Comparación de tiempo medio entre fallas (TMPR)

Fuente: Elaboración propia

Comparación de escenarios de número de notas de servicio atendidas en el periodo de simulación de 30 días.

Tabla 134: Comparación de escenarios

Replica	ACTUAL MODELO-1	MEJORADO MODELO-2
1	206.000	226.000
2	236.000	230.000
3	209.000	228.000
4	218.000	223.000
5	215.000	216.000
6	228.000	244.000
7	211.000	234.000
8	213.000	217.000
9	209.000	243.000
10	199.000	214.000

Elaboración Propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Utilizando el método T-Paried se ha realizado la comparación de ambos escenarios. Los resultados de esta prueba se muestran a continuación:

Tabla 135: Replicas de ambos escenarios

Replica	ACTUAL MODELO-1	MEJORADO MODELO-2	di	di^2
1	206.000	226.000	-20.000	400.000
2	236.000	230.000	6.000	36.000
3	209.000	228.000	-19.000	361.000
4	218.000	223.000	-5.000	25.000
5	215.000	216.000	-1.000	1.000
6	228.000	244.000	-16.000	256.000
7	211.000	234.000	-23.000	529.000
8	213.000	217.000	-4.000	16.000
9	209.000	243.000	-34.000	1156.000
10	199.000	214.000	-15.000	225.000
Suma			-131.000	3005.000
promedio de 'd'			-13.1	

Elaboración Propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Tabla 136: Resultado de variables

alfa =	5%
n-1=	9
alfa / 2 =	2.50%
T(n-1, alfa/2)=	2.262
Sd =	11.9670845

Elaboración Propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Limite inferior=	-13.1	-	2.262	11.967084	/	3.16227766	'=	-21.6601418	
Limite Superior=	-13.1	+	2.262	11.967084	/	3.16227766	'=	-4.53985822	
-13.1	Intervalo [-21.6601 , -4.539858]								
'==>	La media del Modelo-1 es menor que la del Modelo-2,								
	para un nivel de significancia del 5% , ya que el cero esta a la derecha del intervalo								

Se puede ver que el número de notas de servicio atendidas ha aumentado en el modelo mejorado con el aumento de cuatro técnicos mecánicos, lo que ocasionaría un aumento en la utilización de las máquinas

Fuente: elaboración propia

ANALISIS FINANCIERO

Gracias a la implementación del sistema de gestión de mantenimiento basado en la metodología RCM se logra aumentar la disponibilidad de máquinas y a consecuencia de ello se logra incrementar la eficiencia sistema. Según los entendidos del tema explican que si se logra aplicar de manera adecuada esta metodología, se puede reducir entre un 30% y 60% los costos de mantenimiento. Otra de las ventajas de esta metodología, es que se logra reducir la perdida de producción asociada a las paradas de máquina, horas hombre desperdiciada en actividades innecesarias que son improductivas.

Dentro del sistema de transformación avanzada la máquina que marca el ritmo de la producción es la Retestadora, de esta máquina se calculó la producción perdida por baja disponibilidad en el periodo de un año (2016), el monto en soles es de S/. 1, 163,216.67. Ver tabla 137

Tabla 137: Producción perdida por baja disponibilidad en el año 2016

Condicion	Actual (año 2016)
Disponibilidad	67%
Produccion pisos (ML x año)	1,247,083.00
Ganancia de pisos (ML x S/.)	S/. 0.93
Total	S/. 1,163,216.67

Elaboración Propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Después de analizar el flujo de proceso de los equipos para la fabricación de los pisos de machihembrado y de analizar la disponibilidad del sistema, se pudo determinar que la disponibilidad actual es del 67%, se toma como referencia la máquina Retestadora. En la figura 79 se detalla la fórmula del costo de la no disponibilidad:

Figura 79: formula de no disponibilidad

$$\text{Costo de no disponibilidad} = (1 - \text{Disponibilidad}) \times \text{Utilidad} \times \text{Produccion}$$

Fuente: Elaboración propia

- Realizando el cálculo se obtiene el siguiente resultado:

$$\text{Costo de no disponibilidad} = (1 - 0.67) \times S/0.93 \times 1,247\,083 = S/. 382\,729$$

Después de haber realizado el cálculo de la no disponibilidad de la máquina Retestadora del año 2016, se determinó el lucro cesante, este fue de S/. 382 729. Con el sistema de gestión de mantenimiento RCM se espera optimizar el desempeño del sistema productivo. Dicho de otro modo, mejorar el grado de disponibilidad de las máquinas y en consecuencia incrementar la eficiencia global de los equipos.

Tabla de costos para la fabricación de pisos de machihembrado año 2016

En la tabla 138 se puede visualizar la utilidad por metro lineal (ML) por la fabricación de piso de machihembrado, este asciende a \$0.287, considerando el tipo de cambio de S/. 3.25, nos arroja un valor de S/. 0.96.

Tabla 138: Utilidad de fabricación de piso de machihembrado

Costeador de Shihuahuaco/Cumaru - Pisos de 0.75 x 4									
DATOS - COMPRA MP					RENDIMIENTO MP - PT				
Especie	Shihuahuaco/Cumaru				% Mix.	Esp	Anc		
Producto	Pisos				MP - Compra	100%	1.00	6.22	
Humedad	AD				Prod. Term.	0%	0.75	4.00	
Calidad	A/B				Merma 1		52%		
P. de Compra	S/. 2.18				Merma 2		5%		
					Descclasificación		5%		
T.C.	3.25				Rendimiento Total		46%		
DATOS - LOGÍSTICA					VARIABLES DE COSTEO				
Humedad PT	6% - 8%				Tipo Rango	Semestre			
Acabado	T&G - 4S - SE				Periodo	Sem 2 - 16			
Tipo Contenedor	20' - 23 tns				Combo	Proc. / Espec. / Esp.			
Vol. x Contenedor	8,476 kg/pt 2.19								
Cst. x Contenedor (usd)	\$958								
Costo x PT (usd/PT)	\$0.11 Si								
DATOS - VENTA					MARGEN BRUTO				
P. Venta (USD x m3)	A	B	Total		Cst. Venta	\$2.75 \$/ml			
% Descclasificación	95%	5%	\$1,570		Precio de Venta	\$3.04 \$/ml			
					Ingreso Tot.	\$3.04 \$/ml			
Draw Back (%)	0%				Utilidad Bruta	\$0.287 \$/ml			
Comisión Ventas (%)	0%				Margen Bruto Ventas	9.44% \$/ml			

Fuente: Maderera Bozovich 2016

Costo de la implementación

En el capítulo 3 se detalló los costos que se asumiría si se llegara a implementar el RCM en la organización. Para este cálculo se consideró los costos de las actividades de mantenimiento RCM de las siguientes máquinas: Cepilladora 1, Retestadora, Optimizadora, Moldurera 1. Asimismo, la capacitación del equipo multidisciplinario, implementación y los equipos de monitoreo que se necesitarían. Ver tabla 139

Tabla 139: Inversión de implementación de RCM

Inversión del mantenimiento propuesto	
Descripción	Costo
Plan de mantenimiento Cepilladora 1	S/. 3,996.0
Plan de mantenimiento Retestadora	S/. 3,996.0
Plan de mantenimiento Optimizadora	S/. 2,571.0
Plan de mantenimiento Moldurera 1	S/. 4,105.8
Capacitación RCM	S/. 25,610.0
Implementación RCM	S/. 14,050.0
Equipos de monitoreo	S/. 131,500.0
Sumatoria	S/. 185,828.8

Fuente: Elaboración propia 2017

Beneficio esperado de la propuesta

Para poder estimar los ahorros proyectados después de la implementación del sistema de gestión de mantenimiento RCM, se tomó como referencia lo mencionado por Jhon Moubray, en su libro Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCMII, que refiere:

Si RCM es aplicado correctamente a los sistemas de mantenimientos ya existentes, reduce la cantidad de trabajo rutina (en otras palabras la tarea de mantenimiento hechas cíclicamente) de cada periodo, habitualmente entre un 40 y un 70%. Por otro lado, si RCM se utiliza para desarrollar un programa de mantenimiento nuevo, la carga de trabajo resultante es mucho más baja que si el programa es desarrollado con los métodos tradicionales⁹⁸

Como lo mencionado anteriormente los beneficios de la propuesta no solo se verán reflejado en los costos de mantenimiento; si no también en los ingresos por la producción adicional que se incrementara por la aumento de la disponibilidad de los equipos en la fabricación de pisos de machihembrado.

Calculo de costos de mantenimiento Correctivo

Tabla 140: Costo de manteamiento correctivo 2016

Maquina	Costo de mano de obra	Lucro cesante	Costo de repuestos	Costo Mantto correctivo 2016
Cepilladora 1	S/. 2,830.62	S/. 61,516.65	S/. 4,222.35	S/. 68,569.62
Despuntadora 5	S/. 845.39	S/. 3,006.33	S/. 2,378.81	S/. 6,230.53
Línea 1 Maquinado	S/. 6,313.84	S/. 204,172.21	S/. 2,808.27	S/. 213,294.31
Línea 1 Premaquinado	S/. 8,608.08	S/. 271,056.90	S/. 18,098.42	S/. 297,763.39
Medidor de Humedad	S/. 5,953.35	S/. 34,089.68	S/. 2,991.42	S/. 43,034.45
Optimizadora	S/. 3,612.18	S/. 72,683.73	S/. 12,517.19	S/. 88,813.11
Retestadora 1	S/. 1,422.32	S/. 109,565.33	S/. 99,862.41	S/. 210,850.06
Total general	S/. 29,585.78	S/. 756,090.83	S/. 142,878.86	S/. 928,555.48

Elaboración Propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

⁹⁸ Cfr. Moubray 2004: 316-318

Calculo de costos de mantenimiento Preventivo

Tabla 141: Costo de manteamiento preventivo 2016

Maquina	Costo de mano de obra	Lucro cesante	Costo de repuestos	Costo Mantto correctivo 2016
Cepilladora 1	S/. 1,524.18	S/. 33,124.35	S/. 2,273.57	S/. 36,922.10
Despuntadora 5	S/. 455.21	S/. 1,618.79	S/. 1,280.90	S/. 3,354.90
Línea 1 Maquinado	S/. 3,399.76	S/. 109,938.88	S/. 1,512.14	S/. 114,850.78
Línea 1 Premaquinado	S/. 4,635.12	S/. 145,953.71	S/. 9,745.30	S/. 160,334.14
Medidor de Humedad	S/. 3,205.65	S/. 18,355.98	S/. 1,610.76	S/. 23,172.40
Optimizadora	S/. 1,945.02	S/. 39,137.40	S/. 6,740.03	S/. 47,822.44
Retestadora 1	S/. 765.87	S/. 58,996.72	S/. 53,772.06	S/. 113,534.65
Total general	S/. 15,930.81	S/. 407,125.83	S/. 76,934.77	S/. 499,991.41

Elaboración Propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Escenario 1

En este escenario se plantea como pesimista ya que, se estima una reducción de costos de mantenimiento correctivo en un 20%. También, se espera que las actividades de mantenimiento correctivo disminuyan en un 40%.

Tabla 142: Ahorro estimado escenario 1

Descripcion	Actual	Reduccion	Ahorro	Proyectado
Parada del equipo MC	S/. 928,555.48	20%	S/. 185,711.10	S/. 742,844.38
Mantenimiento preventivo	S/. 499,991.41	40%	S/. 199,996.56	S/. 299,994.85
Total	S/. 1,428,546.89		S/. 385,707.66	S/. 1,042,839.23

Elaboración Propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Las conclusiones que podemos llegar luego de analizar la tabla 142, es que con este escenario luego de la implementación se obtendría un ahorro de S/. 385,707.66 aproximado.

Escenario 2

En este caso siendo más optimista con nuestra propuesta la reducción de los costos de mantenimiento correctivo se reducirían en un 40%. Por otro lado, para el caso de los mantenimientos preventivos el ahorro aproximado anual sería de un 60%.

Tabla 143: Ahorro estimado escenario 2

Descripcion	Actual	Reduccion	Ahorro	Proyectado
Parada del equipo MC	S/. 928,555.48	40%	S/. 371,422.19	S/. 557,133.29
Mantenimiento preventivo	S/. 499,991.41	60%	S/. 299,994.85	S/. 199,996.56
Total	S/. 1,428,546.89		S/. 671,417.04	S/. 757,129.85

Elaboración Propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Asimismo, 143 se muestra el ahorro anual para este escenario, el más optimista, sería

S/ 671, 471.04.

Ingresos por producción adicional

Tabla 144: Ingresos por producción adicional en fabricación de pisos machihembrado

Condicion	Actual (año 2016)	Escenario 1	Escenario 2
Disponibilidad	67%	69.01%	71.08%
Produccion pisos (ML x año)	1,247,083.00	1,284,495.49	1,323,030.35
Ganancia de pisos (ML x S/.)	S/. 0.93	S/. 0.93	S/. 0.93
Ingresos adicionales	S/. 1,163,216.67	S/. 1,198,113.17	S/. 1,234,056.56

Elaboración Propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Flujo de caja proyectado

➤ Costo de Oportunidad del capital

Para calcular el COK se utilizó el Modelo de Precios Activos de Capital (MPAC o CAPM), para ello se necesitó el Riesgo País (Rpáis), la Tasa Libre de Riesgo (Rf), la Prima de Mercado (Rm), y un Beta referencial para el sector del proyecto.

- I. **Tasa libre de riesgo (rf):** Para calcular esta variable que corresponde al rendimiento de un activo financiero sin riesgo, se calcula por medio del rendimiento de los bonos del Tesoro de EEUU (10 year T Bond).

La tasa libre de riesgo representa un rendimiento esperado o proyectado, se toma el promedio histórico anual en el período entre 1928 a 2016. La información para este cálculo se obtenido de la página WEB de Aswath Damodaran: <http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/>

La tasa libre de riesgo es de 5.18%. Ver figura 80

Figura 80: Tasa libre de riesgo

[←](#)
[→](#)
[↶](#)
[↷](#)
[pages.stern.nyu.edu/~adamodar/](#)

2002	-21.97%	1.66%	15.12%	\$98,027.82	\$1,675.96	\$4,129.65	-23.62%	-37.08%
2003	28.36%	1.03%	0.38%	\$125,824.39	\$1,693.22	\$4,145.15	27.33%	27.98%
2004	10.74%	1.23%	4.49%	\$139,341.42	\$1,714.00	\$4,331.30	9.52%	6.25%
2005	4.83%	3.01%	2.87%	\$146,077.85	\$1,765.59	\$4,455.50	1.82%	1.97%
2006	15.61%	4.68%	1.96%	\$168,884.34	\$1,848.18	\$4,542.87	10.94%	13.65%
2007	5.48%	4.64%	10.21%	\$178,147.20	\$1,933.98	\$5,006.69	0.84%	-4.73%
2008	-36.55%	1.59%	20.10%	\$113,030.22	\$1,964.64	\$6,013.10	-38.14%	-56.65%
2009	25.94%	0.14%	-11.12%	\$142,344.87	\$1,967.29	\$5,344.65	25.80%	37.05%
2010	14.82%	0.13%	8.46%	\$163,441.94	\$1,969.84	\$5,796.96	14.69%	6.36%
2011	2.10%	0.03%	16.04%	\$166,871.56	\$1,970.44	\$6,726.52	2.07%	-13.94%
2012	15.89%	0.05%	2.97%	\$193,388.43	\$1,971.42	\$6,926.40	15.84%	12.92%
2013	32.15%	0.07%	-9.10%	\$255,553.31	\$1,972.72	\$6,295.79	32.08%	41.25%
2014	13.52%	0.05%	10.75%	\$290,115.42	\$1,973.77	\$6,972.34	13.47%	2.78%
2015	1.38%	0.21%	1.28%	\$294,115.79	\$1,977.91	\$7,061.89	1.17%	0.09%
2016	11.74%	0.51%	0.69%	\$328,645.87	\$1,988.00	\$7,110.65	11.23%	11.05%

Arithmetic Average

1928-2016	11.42%	3.46%	5.18%
1967-2016	11.45%	4.88%	7.08%
2007-2016	8.65%	0.74%	5.03%

Risk Premium

Stocks - T Bills	Stocks - T Bonds	Stocks - T Bills	Stocks - T Bonds
7.96%	6.24%	2.13%	2.28%
6.57%	4.37%	2.42%	2.74%
7.91%	3.62%	6.06%	8.66%

Standard Error

Geometric Average

1928-2016	9.53%	3.42%	4.91%
1967-2016	10.09%	4.83%	6.66%
2007-2016	6.88%	0.73%	4.58%

Risk Premium

Stocks - T Bills	Stocks - T Bonds
6.11%	4.62%
5.26%	3.42%
6.15%	2.30%

Standard Error

ST: Short term (3-month Treasury bill)
LT: Long term (10-year Treasury bond)

Last updated: January 5, 2017

By Aswath Damodaran

ST: Short term (3-month Treasury bill)
LT: Long term (10-year Treasury bond)
Last updated: January 5, 2017
By Aswath Damodaran

Fuente: Aswath Damodaran

- II. **Beta del sector:** Para calcular el riesgo sistemático del sector de negocio respecto al mercado, es una medida de volatilidad de un activo, un beta igual a 1 quiere decir que es equivalente al mercado, si beta es 1.75, quiere decir que es 75% más volátil que el mercado y por el contrario, un beta de 0.70 quiere decir que es 30% menos volátil que el mercado. Dato obtenido de la página web de A. Damodaran: <http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/>

Nuestro proyecto de investigación no cuenta con un financiamiento de terceros, esto permite utilizar el Beta desapalacado (sin deuda).

El Beta proyectado es de 0.91. Ver figura 81

Figura 81: Beta del sector

Betas by Sector (US)

Data Used: Multiple data services

Date of Analysis: Data used is as of January 2017

Download as an excel file instead: <http://www.stern.nyu.edu/~adamodar/pc/datasets/betas.xls>

For global datasets: http://www.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/data.html

Variable Definitions can be obtained by clicking here

Download Detail on which companies are included in each industry

Industry Name	Number of firms	Beta	D/E Ratio	Tax rate	Unlevered beta	Cash/Firm value	Unlevered beta corrected for cash	HiLo Risk	Standard deviation of equity
Advertising	41	1.36	62.98%	5.10%	0.85	6.27%	0.91	0.6671	72.80%
Aerospace/Defense	96	1.07	23.53%	10.86%	0.89	5.21%	0.94	0.5241	40.75%
Air Transport	18	1.12	70.12%	22.99%	0.73	4.23%	0.76	0.4760	38.61%
Apparel	58	0.88	34.21%	10.95%	0.67	4.30%	0.71	0.4968	47.15%
Auto & Truck	15	0.85	150.42%	8.14%	0.35	6.46%	0.38	0.6222	29.21%
Auto Parts	63	1.12	35.22%	10.40%	0.85	8.90%	0.94	0.5478	50.64%
Bank (Money Center)	10	0.86	188.03%	27.90%	0.37	9.89%	0.41	0.2658	25.85%
Banks (Regional)	645	0.47	60.51%	25.43%	0.33	10.76%	0.36	0.2325	22.84%
Beverage (Alcoholic)	25	0.79	29.02%	10.86%	0.63	11.30%	0.71	0.5805	44.18%
Beverage (Soft)	36	0.91	24.51%	5.87%	0.74	4.84%	0.78	0.5856	52.80%
Broadcasting	30	1.22	95.92%	18.54%	0.68	2.17%	0.70	0.4266	41.01%
Brokerage & Investment Bank	45	1.08	232.21%	13.59%	0.36	14.97%	0.42	0.4577	44.96%
Building Materials	41	1.01	26.98%	23.39%	0.83	4.05%	0.87	0.3818	33.77%

Fuente: Aswath Damodaran

- III. **Prima por riesgo de mercado (rm - rf):** Es la diferencia entre el rendimiento del mercado (Promedio histórico anual del rendimiento de S&P 500 en el período 1928-2016) y el rendimiento del activo de libre riesgo (Promedio histórico anual del rendimiento de los Bonos del Tesoro de EEUU en el período 1928-2016). Dato obtenido de la página web de A. Damodaran: <http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/>
- Prima de riesgo de mercado = $(rm - rf) = (11.42 - 5.18) = 6.24\%$. Ver figura 82

Figura 82: Prima de riesgo de mercado (Rm-Rf)

← → ↺ ↻ ↵ pages.stern.nyu.edu/~adamodar/

Annual Returns on Stock, T.Bonds and T.Bills: 1928 - Current

The raw data for treasury bond and bill returns is obtained from the Federal Reserve database in St. Louis (FRED). The treasury bill rate is a 3-month rate and the treasury bond is the constant maturity 10-year bond, but the treasury bond return includes coupon and price appreciation. It will not match the treasury bond rate each period. For more details, download the excel spreadsheet that contains the same data.

You can get the excel spreadsheet that contains all of this data and more here: <http://www.stern.nyu.edu/~adamodar/pc/datasets/histretSP.xls>

Annual Returns on Investments in				Compounded Value of \$ 100				
Year	S&P 500	3-month T.Bill	10-year T. Bond	Stocks	T.Bills	T.Bonds	Stocks - Bills	Stocks - Bonds
1928	49.81%	3.08%	4.20%	\$143.81	\$103.08	\$100.84	40.73%	42.98%
1929	-8.30%	3.16%	4.20%	\$131.88	\$106.34	\$105.07	-11.46%	-12.50%
1930	-25.12%	4.55%	4.54%	\$98.75	\$111.18	\$109.85	-29.67%	-29.66%
1931	-43.84%	2.31%	-2.56%	\$55.46	\$113.74	\$107.03	-46.15%	-41.28%
1932	-8.64%	1.07%	8.79%	\$50.66	\$114.96	\$116.44	-9.71%	-17.43%
1933	49.98%	0.96%	1.86%	\$75.99	\$116.06	\$118.60	49.02%	48.13%
1934	-1.19%	0.32%	7.96%	\$75.09	\$116.44	\$128.05	-1.51%	-9.15%
1935	46.74%	0.18%	4.47%	\$110.18	\$116.64	\$133.78	46.57%	42.27%
1936	31.94%	0.17%	5.02%	\$145.38	\$116.84	\$140.49	31.77%	26.93%
1937	-35.34%	0.30%	1.38%	\$94.00	\$117.19	\$142.43	-35.64%	-36.72%
1938	29.28%	0.08%	4.21%	\$121.53	\$117.29	\$148.43	29.21%	25.07%
1939	-1.10%	0.04%	4.41%	\$120.20	\$117.33	\$154.98	-1.14%	-5.51%
1940	-10.67%	0.03%	5.40%	\$107.37	\$117.36	\$163.35	-10.70%	-16.08%
1941	-12.77%	0.08%	-2.02%	\$93.66	\$117.46	\$160.04	-12.85%	-10.75%
1942	19.17%	0.34%	2.29%	\$111.61	\$117.85	\$163.72	18.84%	16.88%
1943	25.06%	0.38%	2.49%	\$139.59	\$118.30	\$167.79	24.68%	22.57%
1944	19.03%	0.38%	2.58%	\$166.15	\$118.75	\$172.12	18.65%	16.45%
1945	35.82%	0.38%	3.80%	\$225.67	\$119.20	\$178.67	35.44%	32.02%
1946	-8.43%	0.38%	3.13%	\$206.65	\$119.65	\$184.26	-8.81%	-11.56%
1947	5.20%	0.57%	0.92%	\$217.39	\$120.33	\$185.95	4.63%	4.28%
1948	5.70%	1.02%	1.95%	\$229.79	\$121.56	\$189.58	4.68%	3.75%
1949	18.30%	1.10%	4.66%	\$271.85	\$122.90	\$198.42	17.20%	13.64%
1950	30.81%	1.17%	0.43%	\$355.60	\$124.34	\$199.27	29.63%	30.38%
1951	23.68%	1.48%	-0.30%	\$439.80	\$126.18	\$198.68	22.20%	23.97%

Damodaran Online: Home

← → ↺ ↻ ↵ pages.stern.nyu.edu/~adamodar/

2002	-21.97%	1.66%	15.12%	\$98,027.82	\$1,675.96	\$4,129.65	-23.62%	-37.08%
2003	28.36%	1.03%	0.38%	\$125,824.39	\$1,693.22	\$4,145.15	27.33%	27.98%
2004	10.74%	1.23%	4.49%	\$139,341.42	\$1,714.00	\$4,331.30	9.52%	6.25%
2005	4.83%	3.01%	2.87%	\$146,077.85	\$1,765.59	\$4,455.50	1.82%	1.97%
2006	15.61%	4.68%	1.96%	\$168,884.34	\$1,848.18	\$4,542.87	10.94%	13.65%
2007	5.48%	4.64%	10.21%	\$178,147.20	\$1,933.98	\$5,006.69	0.84%	-4.73%
2008	-36.55%	1.59%	20.10%	\$113,030.22	\$1,964.64	\$6,013.10	-38.14%	-56.65%
2009	25.94%	0.14%	-11.12%	\$142,344.87	\$1,967.29	\$5,344.65	25.80%	37.05%
2010	14.82%	0.13%	8.46%	\$163,441.94	\$1,969.84	\$5,796.96	14.69%	6.36%
2011	2.10%	0.03%	16.04%	\$166,871.56	\$1,970.44	\$6,726.52	2.07%	-13.94%
2012	15.89%	0.05%	2.97%	\$193,388.43	\$1,971.42	\$6,926.40	15.84%	12.92%
2013	32.15%	0.07%	-9.10%	\$255,553.31	\$1,972.72	\$6,295.79	32.08%	41.25%
2014	13.52%	0.05%	10.75%	\$290,115.42	\$1,973.77	\$6,972.34	13.47%	2.78%
2015	1.38%	0.21%	1.28%	\$294,115.79	\$1,977.91	\$7,061.89	1.17%	0.09%
2016	11.74%	0.51%	0.69%	\$328,645.87	\$1,988.00	\$7,110.65	11.23%	11.05%

Arithmetic Average			Risk Premium		Standard Error	
	Stocks - T.Bills	Stocks - T.Bonds	Stocks - T.Bills	Stocks - T.Bonds	Stocks - T.Bills	Stocks - T.Bonds
1928-2016	11.42%	3.46%	7.96%	6.24%	2.13%	2.28%
1967-2016	11.45%	4.88%	6.57%	4.37%	2.42%	2.74%
2007-2016	8.65%	0.74%	7.91%	3.62%	6.06%	8.66%

Geometric Average			Risk Premium	
	Stocks - T.Bills	Stocks - T.Bonds	Stocks - T.Bills	Stocks - T.Bonds
1928-2016	9.53%	3.42%	6.11%	4.62%
1967-2016	10.09%	4.83%	5.26%	3.42%
2007-2016	6.88%	0.73%	6.15%	2.30%

ST: Short term (3-month Treasury bill)
LT: Long term (10-year Treasury bond)

Last updated: January 5, 2017

By Aswath Damodaran

Fuente: Aswath Damodaran

- IV. Tasa riesgo país; que es un sinónimo de posible daño, su valor está determinado según variables como: estabilidad política, aparato burocrático, inflación, tipos de cambio, ingresos per cápita, etc. Dato elaborado por JP Morgan y obtenido de la página web:

<http://www.ambito.com/economia/mercados/riesgo-pais/info/?id=13>

El riesgo del país es de = 1.15%. Ver figura 83

Figura 83: Riesgo país

Fuente: JP Morgan

$$COK = r_f + \beta_{proy} \times [r_m - r_f] + riesgo\ país$$

$$COK = 5.18 + 0.91 \times (6.24) + 1.15$$

$$COK = 12 \%$$

Determinación de la tasa de descuento

Después de haber calculado el COK 12% se utilizara para los flujos de caja del proyecto. La rentabilidad mínima que busca para el proyecto es de 12%.

Cálculo del retorno de la inversión inicial - Payback (meses)

El monto inicial de la inversión del proyecto es de S/. 185,828.00 para la implementación de la metodología RCM. El retorno de la inversión o Payback es de 8 meses para el escenario 1 y 8 meses para el escenario 2; el resultado fue calculado por medio de la metodología de selección estático Payback, los resultados de estos cálculos detallan en la tabla 145.

La definición del payback en palabras más técnicas es el tiempo de retorno desde la inversión inicial hasta el momento que los rendimientos acumulados se tornan iguales al valor de esa inversión.

Tabla 145: Cálculo del Payback

Payback (meses) escenario 1				Payback (meses) escenario 2			
Formula = $[(-\text{Inver}) + \text{Uild} * (1 + \text{tr})^n]$				Formula = $[(-\text{Inver}) + \text{Uild} * (1 + \text{tr})^n]$			
Utilidad	Mes	Valor presente	Payback	Utilidad	Mes	Valor presente	Payback
S/. 0.0	0	S/. 0.00	-S/. 185,828.00	S/. 0.0	0	S/. 0.00	-S/. 185,828.00
S/. 45,388.4	1	S/. 40,525.33	-S/. 145,302.67	S/. 46,750.0	1	S/. 41,741.09	-S/. 144,086.91
S/. 30,633.4	2	S/. 27,351.26	-S/. 117,951.41	S/. 32,379.3	2	S/. 28,910.12	-S/. 115,176.79
S/. 40,377.5	3	S/. 36,051.38	-S/. 81,900.03	S/. 42,415.8	3	S/. 37,871.24	-S/. 77,305.55
-S/. 5,631.5	4	-S/. 5,028.17	-S/. 86,928.20	-S/. 4,973.6	4	-S/. 4,440.69	-S/. 81,746.25
S/. 2,849.0	5	S/. 2,543.78	-S/. 84,384.42	S/. 3,761.4	5	S/. 3,358.41	-S/. 78,387.84
S/. 52,137.7	6	S/. 46,551.50	-S/. 37,832.92	S/. 54,528.7	6	S/. 48,686.36	-S/. 29,701.47
S/. 82,421.5	7	S/. 73,590.63	S/. 35,757.71	S/. 85,721.1	7	S/. 76,536.67	S/. 46,835.19
S/. 175,166.0	8	S/. 156,398.22	S/. 192,155.93	S/. 181,247.9	8	S/. 161,828.49	S/. 208,663.68
S/. 108,537.3	9	S/. 96,908.29	S/. 289,064.23	S/. 112,620.3	9	S/. 100,553.86	S/. 309,217.55
S/. 66,216.6	10	S/. 59,122.00	S/. 348,186.23	S/. 69,030.1	10	S/. 61,633.98	S/. 370,851.53
S/. 15,479.2	11	S/. 13,820.72	S/. 362,006.94	S/. 16,770.5	11	S/. 14,973.66	S/. 385,825.18
S/. 14,479.3	12	S/. 12,927.92	S/. 374,934.86	S/. 15,740.6	12	S/. 14,054.08	S/. 399,879.26

Fuente. Elaboración propia

Tabla 146: Flujo de caja de escenario 1

Tasa de interes	12%
Ingresos	
Ahorro por la implementacion	S/. 385,707.66
Ingresos por produccion adicional (anual)	S/. 1,198,113.17
Total	S/. 1,583,820.83
Costo de la inversion	S/. 185,828.80
Costo fijo mensual	S/. 27,233.02

	0	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
Costo de la inversion	185,828.80												
Ingresos		S/. 90,776.73	S/. 72,746.66	S/. 84,926.83	S/. 27,415.46	S/. 38,016.19	S/. 99,627.00	S/. 137,481.78	S/. 253,412.41	S/. 170,126.51	S/. 117,225.70	S/. 53,803.90	S/. 52,553.99
Costo fijo		S/. 27,233.02	S/. 27,563.92	S/. 27,563.92	S/. 27,563.92	S/. 27,563.92	S/. 27,563.92	S/. 27,563.92	S/. 27,563.92	S/. 27,563.92	S/. 27,563.92	S/. 27,563.92	S/. 27,563.92
Costo variable		S/. 18,155.35	S/. 14,549.33	S/. 16,985.37	S/. 5,483.09	S/. 7,603.24	S/. 19,925.40	S/. 27,496.36	S/. 50,682.48	S/. 34,025.30	S/. 23,445.14	S/. 10,760.78	S/. 10,510.80
Utilidad antes de impuestos		S/. 45,388.37	S/. 30,633.41	S/. 40,377.55	S/. -5,631.55	S/. 2,849.03	S/. 52,137.68	S/. 82,421.51	S/. 175,166.01	S/. 108,537.29	S/. 66,216.64	S/. 15,479.20	S/. 14,479.27
Impuestos	30%	S/. 13,616.51	S/. 9,190.02	S/. 12,113.26	S/. -1,689.46	S/. 854.71	S/. 15,641.30	S/. 24,726.45	S/. 52,549.80	S/. 32,561.19	S/. 19,864.99	S/. 4,643.76	S/. 4,343.78
Flujo de caja	-185,828.80	S/. 31,771.86	S/. 21,443.39	S/. 28,264.28	S/. -3,942.08	S/. 1,994.32	S/. 36,496.38	S/. 57,695.05	S/. 122,616.21	S/. 75,976.10	S/. 46,351.65	S/. 10,835.44	S/. 10,135.49

Salidas

VAN	S/. 392,184.73
TIR	14%

Elaboración Propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

Tabla 147: Flujo de caja de escenario 2

Tasa de interes	12%
Ingresos	
Ahorro por la implementacion	S/. 671,417.04
Ingresos por produccion adicional (anual)	S/. 1,234,056.56
Total	S/. 1,905,473.60
Costo de la inversion	S/. 185,828.80
Costo fijo mensual	S/. 28,050.01

	0	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
Costo de la inversion	185,828.80												
Ingresos		S/. 93,500.03	S/. 74,929.06	S/. 87,474.64	S/. 28,237.93	S/. 39,156.67	S/. 102,615.81	S/. 141,606.23	S/. 261,014.78	S/. 175,230.31	S/. 120,742.47	S/. 55,418.02	S/. 54,130.61
Costo fijo		S/. 28,050.01	S/. 27,563.92	S/. 27,563.92	S/. 27,563.92	S/. 27,563.92	S/. 27,563.92	S/. 27,563.92	S/. 27,563.92	S/. 27,563.92	S/. 27,563.92	S/. 27,563.92	S/. 27,563.92
Costo variable		S/. 18,700.01	S/. 14,985.81	S/. 17,494.93	S/. 5,647.59	S/. 7,831.33	S/. 20,523.16	S/. 28,321.25	S/. 52,202.96	S/. 35,046.06	S/. 24,148.49	S/. 11,083.60	S/. 10,826.12
Utilidad antes de impuestos		S/. 46,750.02	S/. 32,379.33	S/. 42,415.79	S/. -4,973.58	S/. 3,761.42	S/. 54,528.73	S/. 85,721.07	S/. 181,247.91	S/. 112,620.33	S/. 69,030.06	S/. 16,770.50	S/. 15,740.57
Impuestos	30%	S/. 14,025.01	S/. 9,713.80	S/. 12,724.74	S/. -1,492.07	S/. 1,128.43	S/. 16,358.62	S/. 25,716.32	S/. 54,374.37	S/. 33,786.10	S/. 20,709.02	S/. 5,031.15	S/. 4,722.17
Flujo de caja	-185,828.80	S/. 32,725.01	S/. 22,665.53	S/. 29,691.05	S/. -3,481.50	S/. 2,632.99	S/. 38,170.11	S/. 60,004.75	S/. 126,873.54	S/. 78,834.23	S/. 48,321.04	S/. 11,739.35	S/. 11,018.40

Salidas

VAN	S/. 401,444.15
TIR	15%

Elaboración Propia 2017

Fuente: Maderera Bozovich S.A.C.

CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. Para reducir la baja disponibilidad de los equipos, actualmente en promedio es de 67%, en el proceso de fabricación de pisos machihembrado, se plantea la propuesta de implementación de RCM que lograra establecer los siguientes tipos de mantenimiento: preventivo, predictivo, autónomo y lista de chequeo.
2. Actualmente, el proceso de reparación de máquina (TMPR) tiene una duración de 4.7 horas y el número de atenciones en el periodo de 30 es de 206.
3. Al realizar la comparación del proceso actual con el propuesto, se observa que existe una reducción de los tiempos medios para reparar (TMPR) de 0.5 horas, lo que representa un valor de 16%.
4. Por otro lado, se lograra aumentar en un 9.7% el número de atenciones de las tareas de mantenimiento dentro del plazo establecido.
5. La organización, con la implementación del proyecto deberá tener la capacidad de reducir la baja disponibilidad de los equipos y con ello incrementar las ganancias. Es decir, aumentar la disponibilidad de los equipos de un 67% hasta un 73% en el primero año.

Recomendaciones

1. La aplicación de RCM debe extenderse a todas las máquinas y equipos de planta, del mismo modo se debe continuar con este modelo de gestión en todas las unidades de negocio.
2. Para el éxito de la implementación del modelo de gestión de mantenimiento propuesto, todos los colaboradores de las áreas productivas y demás de la empresa deberán involucrarse con el cambio.
3. Se deberá realizar auditorías internas de RCM para evaluar el funcionamiento adecuado de la metodología en las áreas productivas propuestas y actualizar constantemente la información.

4. Para el éxito de esta metodología, la alta dirección de la empresa Maderera Bozovich S.A.C. deberá informar y difundir con entusiasmo la aplicación de este modelo de gestión, ya que ellos son los promotores del cambio a nivel estratégico y operativo.
5. Finalmente en un corto o mediano plazo, después de haber sido implementada y consolidada la metodología en la empresa, se puede considerar el desarrollo de algunos pilares del TPM; estas podrían ser: mejoras enfocadas, seguridad y medio ambiente y las 5S.

GLOSARIO

- ✓ Tripulación: Se conforma de un grupo de personas que trabajan realizando una tarea en común.
- ✓ Garlopeado: Proceso en el cual se maquina los cantos de la madera.
- ✓ Garlopeada: Proceso en el cual se le elimina las imperfecciones de la superficie las maderas.

SIGLARIO

- ✓ H.D.P.O: Horas disponible para operación
- ✓ H.P.P: Horas de parada planificada
- ✓ H.P.P.O: Horas planificadas para operación
- ✓ H.P.F.M: Horas de paradas por fallo de maquina
- ✓ H.O.R: Horas de operación real
- ✓ D.E: Disponibilidad estimada
- ✓ D.R: Disponibilidad real
- ✓ D.P: Disponibilidad perdida
- ✓ T.P.N.P: Tiempo de parada no planificada

Anexos

Fallas más representativas del año 2016

Tabla 148: Descripción de fallas en el año 2016

MAQUINA	Desc. Pero	OBSERVACIONES	FECHA	HORAS
Cepilladora 1	Falla eléctrica	CORRECCION DEL MEDIDOR LINEAL	04/10/2016	0.08
	Falla Mecánica	CAMBIO DE DISCO EN MULT. 1	25/01/2016	0.17
		CAMBIO DE FAJA DEL CABEZAL INFERIOR	15/11/2016	0.17
		FALLA EN LA ENTRADA DEL CEPILLO	04/08/2016	1.02
		FALLA EN LOS RODILLOS	01/08/2016	0.75
		FALLA MECANICA EN MULT. 1	07/08/2016	0.33
		POR PROBLEMA DE CABEZAL SUPERIOR	17/08/2016	9.75
		PROBLEMAS CON LOS EMPUJADORES-CABEZAL SEGMENTADO	15/08/2016	10.25
			16/08/2016	10.25
		SE MALOGRO CADENA DE ENTRADA DEL CEPILLO	09/02/2016	0.70
Línea 1 Maquinado	Falla eléctrica	EL SISTEMA DE ARRASTRE SE APAGA	06/05/2016	1.85
		FALLA EN EL PANEL DE MANDO	11/07/2016	1.28
	Falla Mecánica	AJUSTAR LAS FAJAS DEL CABEZAL	20/01/2016	1.00
		CAMBIO DE RUEDA	08/06/2016	1.65
		FALLA DE PLATO PRENSOR	07/06/2016	2.18
		FALLA DEL EM11	21/07/2016	0.40
		FALLA DEL EM11 SE ROMPIO PERNO DEL PISTON	14/06/2016	1.82
		FALLA DEL EM11	12/01/2016	0.50
			28/01/2016	0.68
		FALLA EM 11, SE ROMPIO EL PERNO	06/04/2016	0.50
		FALLA MECANICA	14/07/2016	10.25
		FALTA DEL EM 11	08/08/2016	0.17
		PENDULO MALOGRADO	13/07/2016	3.68
		PRENSOR #1 NO TIENE JUEGO	01/08/2016	3.17
		REPARACION DE LA GUIA ENDEREZADORA	13/07/2016	1.83
		REPARACION DE LA REGLA	23/01/2016	1.00
		REPARACION DEL PRENSOR	15/08/2016	1.25
		REPARACION DEL PRENSOR #1	15/08/2016	3.00
Línea 1 Premequinado		SE ROMPIO EL PERNO DEL PISTON	24/05/2016	1.08
		SE ROMPIO PERNO DEL PISTON	10/08/2016	0.82
	Falla eléctrica	FALLA MECANICA	06/04/2016	0.67
	Falla Mecánica	MAL LECTURA DEL MEDIDOR LINEAL	04/10/2016	0.08
		FALLA DE RODILLOS	01/08/2016	0.75
		FALLA MECANICA DE CEPILLO	04/08/2016	1.02
		MEDIDOR DE HUMEDAD MALOGRADO	01/07/2016	4.58
		MULT 1 MALOGRADO Y APOYO EN LPM 2	04/10/2016	3.02
		MULT. FALLA MECANICA	07/08/2016	4.58
		SE MALOGRO LA CADENA DE MESA RODILLOS	09/02/2016	0.70
Optimizadora	Falla eléctrica	FALLA DEL TABLERO DEL MODULO CENTRAL	28/10/2016	1.55
		FALLA ELECTRICA	01/01/2016	10.25
			04/01/2016	10.25
			05/01/2016	10.25
			06/01/2016	10.25
			07/01/2016	10.25
		FALTA DE TABLERO MODULO CENTRAL	31/10/2016	1.30
		FALTA DE TABLERO MODULO CENTRAL Y APOYARON A VOLTEADO Y CLASIFICADO	31/10/2016	7.08
		NO CONSIDERAR PARA LA CORRIDA DE INCENTIVOS, FALLA ELECTRICA	04/04/2016	10.25
			05/04/2016	10.25
			06/04/2016	10.25
			07/04/2016	10.25
			08/04/2016	10.25
			11/04/2016	10.25
			12/04/2016	10.25
			13/04/2016	10.25
			14/04/2016	10.25
			15/04/2016	10.25
			18/04/2016	10.25
			19/04/2016	10.25
			20/04/2016	10.25
			21/04/2016	10.25
			22/04/2016	10.25
			23/04/2016	10.25
			25/04/2016	10.25
			26/04/2016	10.25
			27/04/2016	10.25
			28/04/2016	10.25

Tabla 149: Descripción de fallas en el año 2016 (Continuación)

1) Retestadora L	2) Falla eléctrica	3) CONTROL DE MANDO	12/10/2016	-
		4) FALLA DEL SELECTOR	12/10/2016	0.93
		5) FALLA DEL TABLERO	01/08/2016	7.93
		6) UNO ENCENDE LA MAQUINA	12/01/2016	-
	4) Falla Mecánica	7) RODILLOS DE ARRASTRE NO GIRA	12/01/2016	-
		8) AJUSTE DE LA FAJA DE CAIDA DE LA RETESTADORA	12/07/2016	0.23
		9) AJUSTE DE RADIO DE GOMA DE LA CADENA DE ARRASTRE	09/08/2016	1.25
		10) LINEACION Y TEMPLADO DE FAJA DE SALIDA	21/04/2016	2.26
		11) CALIBRACION DE RODILLOS DE ARRASTRE Y GUIAS	14/01/2016	4.56
		12) CALIBRACION DEL PISTON DE ESQUADRAS	21/11/2016	1.06
		13) CALIBRACION DEL PISTON	12/08/2016	3.23
		14) CAMBIO DE BRACOS DE TRANSPORTE	12/10/2016	7.42
		15) CAMBIO DE CILINDRO PNEUMATICO DE EMPUJE	07/09/2016	1.87
		16) CAMBIO DE RODILLOS	12/11/2016	4.17
		17) CAMBIO DE RODILLOS DE LA RETESTADORA	07/10/2016	1.96
		18) CAMBIO FAJA DEL MOTOR	22/08/2016	1.00
		19) CUADRADO MESA DE LA RETESTADORA	27/07/2016	0.75
		20) CUADRAR RODILLO DE LA FAJA Y AJUSTE	04/10/2016	1.12
		21) SENSOR ROTO	09/08/2016	2.87
		22) ESQUADRA DOBLADA	01/09/2016	1.00
		23) ESQUADRAS DOBLADAS	22/08/2016	2.25
		24) FALLA DE BAJA DE CAIDA DE LA RETESTADORA	12/08/2016	1.87
		25) FALLA DE GUÍA	09/09/2016	0.22
		26) FALLA DE LA ESQUADRA	25/07/2016	0.76
		27) FALLA DE LAS FAJAS	22/07/2016	1.07
		28) FALLA DE LOS BRACOS	12/07/2016	2.23
		29) FALLA DE PISTON	12/08/2016	1.87
		30) FALLA DE PISTON 2	12/08/2016	10.25
		31) FALLA DE RADIOS DE LA RETESTADORA	12/07/2016	2.30
		32) FALLA DEL BRACO	12/08/2016	5.17
		33) FALLA DEL BRACO DE EMPUJE DE ESQUADRAS	09/09/2016	10.25
		34) FALLA DEL PISTON	09/08/2016	10.00
		35) FALLA DEL PISTON	09/08/2016	2.42
			12/09/2016	2.75
		36) FALLA DEL PISTON CALIBRACION	22/11/2016	2.23
		37) FALLA DEL PISTON DE ESQUADRAS	09/09/2016	5.93
			22/09/2016	1.06
		38) FALLA EN GUÍA DE PISTON	12/02/2016	1.00
		39) GUIAS DE TEFUON	22/01/2016	2.00
		40) LIMPIO DE LA FAJA	12/08/2016	0.83
		41) Limpio doblado de la faja de regulamiento	12/12/2016	10.00
		42) Problemas con la faja	12/09/2016	5.87
			09/12/2016	1.00
		43) REGULA DE LA RETESTADORA	22/08/2016	4.06
		44) REGULACION PISTON	27/10/2016	0.23
		45) RODILLO ROTO	09/11/2016	5.87
		46) RODILLO ROTO	09/11/2016	2.17
		47) CALIBRA GUÍA DE CAIDA	17/10/2016	2.75
		48) DOBLADO UNA REGULA	09/07/2016	0.23
		49) SE ROMPIE RODILLO DE SALIDA	12/08/2016	0.23
		50) SE ROMPIE FAJA DE RODILLO	12/01/2016	2.23
		51) SENSOR DE CORTE NO FUNCIONA	12/01/2016	2.22
		52) TEMPLADO DE FAJA	12/04/2016	2.75
		53) TEMPLADO DE FAJA DE RODILLO DE ARRASTRE	12/08/2016	0.42
		54) TEMPLADO DE FAJA RODILLO	21/11/2016	2.00
	4) Verificación de resaca	55) CALIBRACION DE ESQUADRA	14/09/2016	1.12
		56) CALIBRACION DE ESQUADRAS	12/07/2016	0.93
			12/10/2016	2.10
			14/10/2016	2.27
		57) RODILLO ROTO	09/11/2016	0.42
Total general				328.55

Tabla de codigos de O.E.E.

CÓD. ACT.	Descripcion Paro	Tiempo Paro No Planificado (Horas)
M01	Falla Mecánica	10,040.80
M04	Falla eléctrica	7,068.03
M05	Falla Electrónica	4,478.07
P15	Otro paro no planificado	2,293.90
P11	Entrampamiento	1,068.69
P02	Falta de abastecimiento	843.53
P05	Servicios Higienicos	836.18
P10	Cambio de orden de poducción	697.80
M13	Falla de Afilado	653.30
M02	Cambio de disco	524.42
M07	Falta de succión	452.08
M12	Corte eléctrico	397.78
M03	Falla de sistema de direccion	346.87
P06	Falta de personal	301.87
P16	Descanso intermedio	257.90
P12	Forrado de paquete	161.82
M16	Falta de aire comprimido	159.20
P08	Cambio de paquete	153.02
P01	Apertura / Cierre De Turno	134.53
M15	Falla de Elemento de Corte	129.40
M08	Verificación de escuadras	119.08
P09	Entrampamiento	115.08
M03B	Calibración de máquina LB2	82.98
P20	Falla de Operación	57.27
P05A	Descarga de trenes (tablas, decking)	57.22
P17	Cambio de orden de poducción	56.52
P04A	Armado de trenes (tablas,decking)	50.00
M03A	Calibración de máquina LB1	43.97
P04B	Armado de trenes (tablillas, pisos)	38.08
M09	Llanta desinflada	25.65
M11	Lubricación	25.20
P19	Limpieza General	24.82
P23	Falla de Enzunchadora	21.78
REF	Refrigerio	20.38
M02IF	Camb. Cabezal inferior x filo	16.58
M14	Falla Mesa Acanalada	10.50
M02T	Cambio y Calibración Total de Cabezales	9.73
P05B	Descarga de trenes (tablillas, pisos)	8.58
P23A	Armado Paquete 7' y 10'	6.75
P18	Limpieza de silo	6.47
P13	Accidente	5.33
M02B3	Cambio y calib. de lija Lij.2 R3	3.87
P03	Falta de Montacarga	3.77
M02A1	Cambio y calib. de lija Lij.1 R1	3.70
M02SF	Camb. Cabezal superior x filo	3.37
P07	Falta orden de producción	2.88
M02B1	Cambio y calib. de lija Lij.2 R1	2.67
P23B	Armado Paquete 4'	1.75
P04	F/P	1.55
M02IP	Camb. Cabezal inferior x producto	1.25
M02F	Camb. y Calib. Fresa Canto (N°1)	0.70
M02A2	Cambio y calib. de lija Lij.1 R2	0.57
M02SP	Camb. Cabezal superior x producto	0.50
M02A3	Cambio y calib. de lija Lij.1 R3	0.42
M02B2	Cambio y calib. de lija Lij.2 R2	0.42
M10	Cambio de pesas	0.08
M06	Mantenimiento Preventivo	-
MNP	Maquina No Programada	-
P14	Otro paro planificado	-
P21	Clasificado y Empaquetado de pisos	-
P22	Capacitación	-
PRO	Produccion	-
REFN	Refrigerio noche	-
Total general		31,828.65

Bibliografía

1. Ahmad, N., & Ahasan-Ul-Karim, M. (2017). A Framework for Application of Reliability Centered Maintenance in the Lead Oxide Production System. En: Applied Mechanics & Materials, 860123-128. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.860.123 (<http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=5&sid=299cf974-a0e4-4534-ba7a-71fc76e9281b%40sessionmgr4009>)
2. AYATOLLAHI, HACKHOFER, M.; KITTL, B. y PAUKER, F. (2013). NEW APPROACH FOR OEE CALCULATION OF CNC MACHINES BASED ON OPC UA. En: DAAAM International Scientific Book. 2013, p895-902. (<http://web.a.ebscohost.com/ehost/detail/detail?sid=bf3f9cc1-a843-4d79-b987-16f09541f31b%40sessionmgr4009&vid=9&hid=4206&bdata=Jmxhbm9ZXM%3d#AN=98764014&db=iib>)
3. Baban, C. F., Baban, M., & Suteu, M. D. (2016). Using a fuzzy logic approach for the predictive maintenance of textile machines. En: Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 30(2), 999-1006. doi: 10.3233/IFS-151822. (<http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=f111926b-c02f-497f-a2cb-eb678ed7be72%40sessionmgr102&vid=9&hid=128>)
4. Barros Chaparro, D. J., Valencia Ochoa, G., & Vargas Henríquez, L. (2014). Implementación del RCM II en planta de producción de lingotes de plomo. En: Scientia Et Technica, 19(2), 200-208. (<http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=5e7a9c83-883e-4813-a765-3ba28bd40d59%40sessionmgr103&vid=39&hid=118>)
5. Bekar, Ebru Turanoglu; Cakmakci, Mehmet Y Kahraman, Cengiz. (2015). An ANFIS Algorithm for Forecasting Overall Equipment Effectiveness Parameter in Total Productive Maintenance. En: Journal of Multiple-Valued Logic & Soft Computing. 2015, Vol. 25 Issue 6, p535-554. (<http://web.a.ebscohost.com/ehost/detail/detail?sid=f588cfdb-e18a-478e-abdb-88680f7e1d46%40sessionmgr4010&vid=40&hid=4207&bdata=Jmxhbm9ZXM%3d#AN=111891297&db=egs>)
6. Braglia, Marcello; Castellano, Davide; Frosolini, Marco. (2013). An integer linear programming approach to maintenance strategies selection. En: The International Journal of Quality & Reliability Management; Bradford. Vol. 30.9 pp. 991-1016.

<http://search.proquest.com/docview/1432216342/77319231BF144F24PQ/3?accountid=43860>)

7. Cadick, John; Capelli-Schellpfeffer, Mary ; Dennis K. Neitzel, Al Winfield. (2012) Electrical Safety Handbook, Fourth Edition. ELECTRICAL MAINTENANCE AND ITS RELATIONSHIP TO SAFETY, Chapter (McGraw-Hill Professional), AccessEngineering
(<http://accessengineeringlibrary.com.ezproxy.upc.edu.pe:2048/browse/electrical-safety-handbook-fourth-edition/c9780071745130ch06?s.num=2&q=rcm#ch06lev1sec04>)
8. Cárcel Carrasco, F. f. (2015). ANÁLISIS DEL SECTOR DEL MANTENIMIENTO EN RELACIÓN A ESTUDIOS SECTORIALES. (Spanish). En: *3C Tecnologia*, 4(4), 159-174
(<http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=3&sid=cdbfe87c-9270-416e-80b5-30443f583ec3%40sessionmgr4010&hid=4206>)
9. Cárcel Carrasco, F. f. (2016). CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS TPM Y RCM EN LA INGENIERÍA DEL MANTENIMIENTO. *3C Tecnologia*, 5(3), 68-75.
(<http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=5e7a9c83-883e-4813-a765-3ba28bd40d59%40sessionmgr103&vid=46&hid=118>)
10. Chen, C. (2013). A developed autonomous preventive maintenance programme using RCA and FMEA. *International Journal Of Production Research*, 51(18), 5404-5412. doi:10.1080/00207543.2013.775521
(<http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=8&sid=d52d525a-2ac8-47d3-8b2c-e2ad298c8f55%40sessionmgr103>)
11. Colmenares, Orlando y Villalobos, Daniel. (2014). Prospectiva metodológica para el mantenimiento preventivo. En: *Ingenium*. jul-dic2014, Vol. 15 Issue 30, p23-27.
(<http://web.a.ebscohost.com/ehost/detail/detail?sid=856670d5-53d8-4660-967d-19ef058c2deb%40sessionmgr4010&vid=37&hid=4207&bdata=Jmxhbm9ZXM%3d#AN=116595971&db=fua>)
12. Deepak Prabhakar P., 2Dr. Jagathy Raj V.P. (2014) CBM, TPM, RCM and A-RCM - A Qualitative Comparison of Maintenance Management Strategies, pp 49-56 En: Dept. of Management Studies & Research, Karpagam University (consulta: 6 de Agosto del 2017) (<http://www.ijmbs.com/Vol4.3/8-Deepak-Prabhakar-P.pdf>)
13. Díaz-Concepción, A., Villar-Ledo, L., Cabrera-Gómez, J., Gil-Henríquez, A. S., Mata-Alonzo, R., & Rodríguez Piñeiro, A. J. (2016). Implementación del Mantenimiento Centrado en la confiabilidad en empresas de transmisión eléctrica. En:

(<http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=22&sid=e4feb9bc-21dc-4e1b-a263-52dd6aeabb5d%40sessionmgr104&hid=124>)

14. Digalwar, A. K., & Nayagam, P. V. (2014). Implementation of Total Productive Maintenance in Manufacturing Industries: A Literature-Based Metadata Analysis. En: IUP Journal Of Operations Management, 13(1), 39-53. (<http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=5e7a9c83-883e-4813-a765-3ba28bd40d59%40sessionmgr103&vid=46&hid=118>)
15. Felecia. (2014). Fuzzy Logic Reliability Centered Maintenance. En: Jurnal Teknik Industri, 16(2), 121-126. (<http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=16&sid=e4feb9bc-21dc-4e1b-a263-52dd6aeabb5d%40sessionmgr104&hid=124>)
16. FERNANDEZ SANCHEZ, Manuel y SHKILIOVA, Liudmila. (2012). Validación de un método para el cálculo de indicadores de mantenimiento. En: Rev Cie Téc Agr [online]. 2012, vol.21, n.4 [citado 2017-02-03], pp. 72-79. (<http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v21n4/rcta12412.pdf>)
17. Fonseca-Junior, M., Holanda-Bezerra, U., Cabral-Leite, J., & Reyes-Carvajal, T. L. (2015). Maintenance management program through the implementation of predictive tools and TPM as a contribution to improving energy efficiency in power plants. En: Dyna, 82(194), 139-149. doi:10.15446/dyna.v82n194.47642. (<http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v82n194/v82n194a18.pdf>)
18. Fore, S., & Mudavanhu, T. (2011). Application of RCM for a chipping and sawing mill. En: Journal of Engineering, Design and Technology, 9(2), 204-226. doi:http://dx.doi.org/10.1108/17260531111151078. (<http://search.proquest.com/docview/1012267431/abstract/842B2BD68F6F4E18PQ/1?accountid=43860>)
19. Fraser, Kym. (2014). Facilities management: the strategic selection of a maintenance system. En: Journal of Facilities Management; Bingley. Vol. 12.1 pp. 18-37. (<http://search.proquest.com/abiglobal/docview/1476459154/4361CD819B3C4E3BPQ/5?accountid=43860>)
20. Fred R. David (2008) Conceptos de administración estratégica, Decimoprimer edición. Pearson, Mexico
21. GARCIA ALCARAZ, Jorge Luis; ROMERO GONZALEZ, Jaime y NORIEGA MORALES, Salvador Anacleto. El éxito del mantenimiento productivo total y su relación con los factores administrativos. En: Contad. Adm [online]. 2012, vol.57,

22. GUEVARA, Wilmer; VALERA CARDENAS, Andrónico y CAMPEROS GOMEZ, julio de Andrea. (2015). Metodología para evaluar el factor de Confiabilidad en la Gestión de Proyectos de Diseño de Equipos Industriales. En: Tecnura [en línea]. 2015, vol.19, n.spe [citado 02/03/2017], pp.129-141. (<http://www.scielo.org.co/pdf/tecn/v19nspe/v19nspea12.pdf>)
23. Herrera-Galán, Michael y Duany-Alfonzo, Yoenia. (2016). Metodología e implementación de un programa de gestión de mantenimiento. En: Ingeniería Industrial. Vol. 37 Issue 1, pp.2-13. (<http://web.a.ebscohost.com/ehost/detail/detail?sid=04e0da45-7356-4088-9bfb-84860eb17189%40sessionmgr4008&vid=8&hid=4206&bdata=Jmxhbm9ZXM%3d#AN=113479163&db=fua>)
24. Khalaf, Abdelbaset; Djouani, Karim; Hamam, Yskandar; Alayli, Yasser. (2015). Maintenance Strategies and Failure-Cost Model for Medical Equipment. En: Quality & Reliability Engineering International. Vol. 31 Issue 6, p935-947 (<http://web.b.ebscohost.com/ehost/detail/detail?sid=2b33dd1d-a2c8-4a87-8c38-675a9cd6a4ac%40sessionmgr120&vid=11&hid=124&bdata=Jmxhbm9ZXM%3d#AN=109541700&db=a9h>)
25. Khatab, A., Ait-Kadi, D., & Rezg, N. (2014). Availability optimisation for stochastic degrading systems under imperfect preventive maintenance. En: International Journal Of Production Research, 52(14), 4132-4141. doi:10.1080/00207543.2013.835499. (<http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=9b2e2c4a-e321-4791-9701-d61bc74b7e54%40sessionmgr4008&vid=10&hid=4104>)
26. Kianfar, Azadeh; Kianfar, Ferydoon (2010). Plant function deployment via RCM and QFD. En: Journal of Quality in Maintenance Engineering; Bradford. Vol. 16.4 pp. 354-366. (<http://search.proquest.com/docview/756105215/5A547C99740444E2PQ/1?accountid=43860>)
27. KRAWCKE, NICOLE.(2015). Tapping the Potential of Predictive Maintenance. (cover story). En: Air Conditioning, Heating & Refrigeration News. 12/14/2015, Vol. 256 Issue 15,pp. 1-14. (<http://web.b.ebscohost.com/ehost/detail/detail?sid=2b33dd1d-a2c8-4a87-8c38-675a9cd6a4ac%40sessionmgr120&vid=24&hid=124&bdata=Jmxhbm9ZXM%3d#AN=111530796&db=bth>)

28. Lehan, Bill. (2012). Reliability Centered Maintenance (RCM). En: Journal of Property Management; Chicago. Vol. 77.4 pp. 33. (<http://search.proquest.com/docview/1289054355/E4318E9F93584C36PQ/19?accountid=43860>)
29. Linares Depestre, I. O. (2012). Del Mantenimiento Correctivo al Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. En: Centro Azúcar, 39(3), 7-14. (<http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=19&sid=e4feb9bc-21dc-4e1b-a263-52dd6aeabb5d%40sessionmgr104&hid=124>)
30. Mani, M., Madan, J., Lee, J. H., Lyons, K. W., & Gupta, S. (2014). Sustainability characterisation for manufacturing processes. En: International Journal Of Production Research, 52(20), 5895-5912. doi:10.1080/00207543.2014.886788. (<http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=ae4b576c-04be-4c68-a139-01bce1fce1f7%40sessionmgr103&vid=1&hid=128>)
31. Marín-García, J. A., & Mateo Martínez, R. (2013). Barreras y facilitadores de la implantación del TPM. En: Intangible Capital, 9(3), 823-853. doi:10.3926/ic.360. (<http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=8445ae3c-ae1c-4414-8cdf-6ff1dc1f83ef%40sessionmgr104&vid=1&hid=128>)
32. Mays, L. (2015). Five strategies to achieve world-class preventive maintenance. En: Plant Engineering, 69(6), 47-48,50. (<http://search.proquest.com/docview/1711005403/fulltextPDF/B42CE545FD664D80PQ/1?accountid=43860>)
33. MERCADO, VERENA y PENA, JOSÉ BERNARDO. (2016) Modelo de gestión de mantenimiento enfocado en la eficiencia y optimización de la energía eléctrica. En: Saber [online]. vol.28, n.1 [citado 2017-02-03], pp. 99-105. (<http://www.scielo.org.ve/pdf/saber/v28n1/art10.pdf>)
34. Mokhtari, Hadi; Mozdgir, Ashkan y Kamal Abadi, Isa Nakhai. (2012). A reliability/availability approach to joint production and maintenance scheduling with multiple preventive maintenance services. En: International Journal of Production Research. Vol. 50 Issue 20, p5906-5925. (<http://web.a.ebscohost.com/ehost/detail/detail?sid=856670d5-53d8-4660-967d-19ef058c2deb%40sessionmgr4010&vid=23&hid=4207&bdata=Jmxhbm9ZXM%3d#AN=82248499&db=bth>)
35. Moubray, Jhon (2004) Mantenimiento Centrado en Confiabilidad II, 2da Edición. Traducido por Ellman, Sueiro y Asociados. Buenos Aires, Argentina – Madrid, España

36. Muchiri, Peter Nganga; Pintelon, Liliane; Martin, Harry y Chemweno, Peter. (2014). Modelling maintenance effects on manufacturing equipment performance: results from simulation analysis. En: International Journal of Production Research. Vol. 52 Issue 11, p3287-3302 (<http://web.a.ebscohost.com/ehost/detail/detail?sid=f588cfdb-e18a-478e-abdb-88680f7e1d46%40sessionmgr4010&vid=20&hid=4207&bdata=Jmxhbm9ZXM%3d#AN=95431102&db=bth>)
37. Mungani, D. S., & Visser, J. K. (2013). MAINTENANCE APPROACHES FOR DIFFERENT PRODUCTION METHODS. En: *South African Journal of Industrial Engineering*, 24(3), 1-13. Retrieved from (<https://search.proquest.com/docview/1470800902?accountid=43860>)
38. Nakamanuruck, Itthipol; Talabgaew, Sompoap y Rungreunganun, Vichai. (2016). An application of Reliability Centered Maintenance Technique for Preventive Maintenance in Refinery Plant. En: *Applied Mechanics & Materials*. Vol. 848, p244-250. (<http://web.a.ebscohost.com/ehost/detail/detail?sid=856670d5-53d8-4660-967d-19ef058c2deb%40sessionmgr4010&vid=34&hid=4207&bdata=Jmxhbm9ZXM%3d#AN=117071812&db=egs>)
39. PACAIOVA, H., & GLATZ, J. (2015). MAINTENANCE MANAGEMENT SYSTEM. En: *MM Science Journal*, 665-669. doi:10.17973/MMSJ.2015_10_201532.(<http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=5e7a9c83-883e-4813-a765-3ba28bd40d59%40sessionmgr103&vid=11&hid=118>)
40. Primero, D. F., Diaz, J. C., García, L.F., & González-Vargas, A. (2015). Manual para la gestión del mantenimiento correctivo de equipos biomédicos en la fundación valle del Lili/MANUAL FOR THE MANAGEMENT OF CORRECTIVE MAINTENANCE OF BIOMEDICAL EQUIPMENT IN FUNDACIÓN VALLE DEL LILI/MANUAL DE GESTÃO DA MANUTENÇÃO CORRETIVA DE EQUIPAMENTOS BIOMÉDICOS NA FUNDAÇÃO VALLE DEL LILI. En: *Revista Ingeniería Biomédica*, 9(18), 81-87. Retrieved from (<https://search.proquest.com/docview/1723665020?accountid=43860>)
41. Quiroga Méndez, J., & Oviedo Castillo, S. (2011). Implementación de un mantenimiento basado en la condición usando modelado y simulación: caso de estudio de un motor sin-crónico de imanes permanentes. *Ingeniería e Investigación*, 31(2). (<http://www.redalyc.org/html/643/64322334003/>)

42. Singh, Rajesh; Gupta, Ayush y Kumar, Ashok; Khan, Tasmeem Ahmad (2015). Ranking of barriers for effective maintenance by using TOPSIS approach. En: Journal of Quality in Maintenance Engineering; Bradford. Vol.22.1 pp. 18-34. (<http://search.proquest.com/abiglobal/docview/1768200156/E60B120F14CB415FPQ/10?accountid=43860>)
43. Sivaram, N. M., Devadasan, S. R., & Muruges, R. (2013). CONCEPTUALISATION FOR IMPLEMENTING TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE THROUGH THE ISO 9001:2008 STANDARD-BASED QUALITY MANAGEMENT SYSTEM. En: South African Journal Of Industrial Engineering, 24(2), 33-46. (<http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=15837214-a3cf-4d0b-90d2-21bd0fab6842%40sessionmgr4010&vid=12&hid=4109>)
44. Straka, Luboslav Y Hasova, Slavomira. (2016). The Optimal Plan Of Preventive Maintenance Of The Electroerosion Equipment Sodick Aq15l. En: MM Science Journal. p1258-1264 (<http://web.a.ebscohost.com/ehost/detail/detail?sid=856670d5-53d8-4660-967d-19ef058c2deb%40sessionmgr4010&vid=9&hid=4207&bdata=Jmxhbm9ZXM%3d#AN=119556802&db=iih>)
45. Suthep, B., & Kullawong, T. t. (2015). COMBINING RELIABILITY-CENTERED MAINTENANCE WITH PLANNING METHODOLOGY AND APPLICATIONS IN HARD CHROME PLATING PLANTS. En: International Journal Of Technology, 6(3), 442-451. (<http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=3&sid=114a972f-7834-4481-9eac-7d83f576c054%40sessionmgr4006>)
46. Tothova, M., Balara, M. y Dubjak, J. (2015). Simulation model of cascade control of the heating system. En: International Journal of Engineering Research in Africa, Vol.18. pp.20-27. ISSN 1663-3571(<http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=58381c38-84cb-4078-b7fe-05e380663f48%40sessionmgr4008&vid=4&hid=4107>)
47. Unzueta-Aranguren, G., Goti-Elordi, A., Garitano-Aranda, J., & Sánchez-Ganchegui, I. (2014). Aplicación de un sistema de gestión del mantenimiento basado en un RCM adaptado. En: DYNA - Ingeniería E Industria, 89(3), 347-354. doi: 10.6036/3908. (<http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=6&sid=7cf90e7b-e390-4bc8-85f0-9bb78cfe647e%40sessionmgr4006&hid=4106>).
48. Vásquez, C., Luna, M., Pérez, R., Osal, W., & Blanco, C. (2012). Interrupciones del suministro eléctrico: Una revisión de su impacto y de las técnicas de mantenimiento

- preventivo. En: Décima Conferencia Latinoamericana y Caribeña de Ingeniería y Tecnología LACCEI (LACCEI'2012) (<http://www.laccei.org/LACCEI2012-Panama/RefereedPapers/RP025.pdf>)
49. Viveros, P., Stegmaier, R., Kristjanpoller, F., Barbera, L., & Crespo, A. (2013). Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo/Proposal of a maintenance management model and its main support tools. En: *Ingeniare : Revista Chilena De Ingenieria*, 21(1), 125-138. Retrieved from (<http://search.proquest.com/docview/1367082676/fulltextPDF/FDA698CB735D43EEPQ/3?accountid=43860>)
 50. Wan Hasrulnizzam Wan Mahmood; Abdullah, Ilyana1 ilyana. y Muhammad Hafidz Fazli MdFauadi. (2015). Translating OEE Measure into Manufacturing Sustainability. En: *Applied Mechanics & Materials*. 2015, Vol. 761, p555-559. (<http://web.b.ebscohost.com/ehost/detail/detail?sid=2b33dd1d-a2c8-4a87-8c38-675a9cd6a4ac%40sessionmgr120&vid=27&hid=124&bdata=Jmxhbm9ZXM%3d#AN=102816411&db=egs>)
 51. Zhang, Xiaohong y Zeng, Jianchao. (2015). Deterioration state space partitioning method for opportunistic maintenance modelling of identical multi-unit systems. En: *International Journal of Production Research*. Vol. 53 Issue 7, p2100-2118. (<http://web.a.ebscohost.com/ehost/detail/detail?sid=f588cfdb-e18a-478e-abdb-88680f7e1d46%40sessionmgr4010&vid=10&hid=4207&bdata=Jmxhbm9ZXM%3d#AN=100936056&db=bth>)
 52. Žilka, Miroslav. (2014). Methodology for selecting the appropriate maintenance strategy for production machines. En: *Proceedings on Maintenance*. P209-216. (<http://web.b.ebscohost.com/ehost/detail/detail?sid=2b33dd1d-a2c8-4a87-8c38-675a9cd6a4ac%40sessionmgr120&vid=17&hid=124&bdata=Jmxhbm9ZXM%3d#AN=97063127&db=egs>)
 53. Lago, N. B., Trimiño Romero, J. A., Cortez, L. A., Lobaina, D. C., & Muñoz Herrera, J. A. (2015). Enfoque basado en riesgo desde la etapa de desarrollo del producto succinilcolina infantil 100 mg. En: *Revista Cubana De Farmacia*, 49(3), 416-424. (<http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=3&sid=39064e19-5212-4504-bc70-379b69e454e4%40sessionmgr4007>)
 54. Escalante, Amparo y Domingo, José (2015) *Métodos y tiempos con manufactura ágil*. 1ra edición. México: Alfa Grupo Editor.
 55. César González, J., Alan Myer, R., & Pachón Muñoz, W. (2017). La evaluación de los riesgos antrópicos en la seguridad corporativa: En: *del Análisis Modal de Fallos y*

- Efectos (AMFE) a un modelo de evaluación integral del riesgo. *Revista Científica General José María Córdova*, 15(19), 269-289. doi:10.21830/19006586.81
(<http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=14&sid=20630b5b-d83a-44a6-86ed-a52d607e315f%40sessionmgr4008>)
56. HERRERA UMAÑA, MARÍA FERNANDA, & OSORIO GÓMEZ, JUAN CARLOS. (2006). MODELO PARA LA GESTIÓN DE PROVEEDORES UTILIZANDO AHP DIFUSO. En: *Estudios Gerenciales*, 22(99), 69-88. Retrieved August 22, 2017, from
(http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-59232006000200003&lng=en&tlng=pt.)
57. Sexto, Luis Felipe. LA EVALUACIÓN DE TAREAS EN UN PROCESO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD [en línea]. Enero de 2010. [23/08/2017
(http://www.mantenimientomundial.com/sites/mmnew/bib/notas/RCM_Sexto_MM20.pdf)
58. López Duque, M. E., de Ocampo, L. R., & López Velásquez, G. L. (2013). Resistencia al cambio en organizaciones modernas. *Scientia Et Technica*, 18(1), 149-157.
(<http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=3&sid=ccfeacf6-a674-4966-a794-c803a7ac4cd3%40sessionmgr4006>)
59. Cárcel-Carrasco, F. (2016). EVOLUCIÓN HISTÓRICA DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL EN RELACIÓN A LA GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO. (Spanish). *DYNA - Ingeniería E Industria*, 91(6), 591-596.
(<http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=0&sid=75cb54bd-bdad-4976-979a-2cebe7e1de18%40sessionmgr4010>)
60. Felizzola Jiménez, H., & Amaya, C. L. (2014). Lean Six Sigma en pequeñas y medianas empresas: un enfoque metodológico. *INGENIARE - Revista Chilena De Ingeniería*, 22(2), 263-277.
(<http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=3&sid=dfa3fb5b-b8a3-4624-bcbf-a4b0285473f9%40sessionmgr4010>)
61. Ardila Marín, J. G., Ardila Marín, M. I., Rodríguez Gaviria, D., & Hincapié Zuluaga, D. A. (2016). LA GERENCIA DEL MANTENIMIENTO: UNA REVISIÓN. *Dimensión Empresarial*, 14(2), 127-142. doi:10.15665/rde.v14i2.480.
(<http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=3&sid=7ee25c4e-5478-4851-89e3-c9a848284b37%40sessionmgr4007>)
62. Gonzáles, C.; Domingo, R.; Pérez, M. (2013). En: "Técnicas de mejora de la calidad". Recuperado de:
(<http://site.ebrary.com/lib/upcsp/reader.action?docID=10803889>)

63. Stachú, W. (2012). En: "Identificación de la problemática mediante Pareto e Ishikawa".
Recuperado de:
(<http://site.ebrary.com/lib/upcsp/reader.action?docID=10316210>)