

## Índice general

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....	1
1.1    Antecedentes y motivación .....	2
1.1.1    Línea productiva de aplicación .....	2
1.2    Descripción del problema .....	3
1.3    Solución propuesta .....	4
1.4    Objetivos .....	4
1.4.1    Objetivo general .....	4
1.4.2    Objetivos específicos .....	4
1.5    Alcances .....	5
1.6    Metodologías y herramientas utilizadas .....	5
1.7    Resultados esperados .....	6
1.8    Organización del documento .....	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	8
2.1    Conceptos de mantenimiento industrial .....	9
2.2    Objetivos del mantenimiento .....	9
2.3    Historia y evolución .....	10
2.4    Tipos de mantenimiento .....	11
2.4.1    Mantenimiento correctivo .....	11
2.4.2    Mantenimiento preventivo .....	11
2.4.3    Mantenimiento predictivo .....	12
2.5    Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (FMECA / AMFEC) .....	12
2.5.1    ¿Qué es y para qué sirve? .....	12
2.5.2    Objetivos de la metodología .....	13
2.6    Pasos para la elaboración de un FMECA .....	13
2.6.1    Flujo de proceso de elaboración .....	13
2.6.2    Descripción de los campos de la metodología .....	14
2.6.2.1    Campo 1: Identificación del FMECA: Producto y/o Proceso .....	15
2.6.2.2    Campo 2: Datos de registro .....	15
2.6.2.3    Campo 3: Ítem .....	15
2.6.2.4    Campo 4: Nombre de componente o etapa del proceso .....	15
2.6.2.5    Campo 5: Función de componente o proceso .....	15
2.6.2.6    Campo 6: Identificación de los modos de falla .....	16
2.6.2.7    Campo 7: Identificación de los efectos de las fallas .....	17
2.6.2.8    Campo 8: Identificación de las causas básicas de las fallas .....	17
2.6.2.9    Campo 9: Medios de determinación (situación existente) .....	18
2.6.2.10    Campo 10: Probabilidad de ocurrencia .....	19
2.6.2.11    Campo 11: Severidad de los efectos .....	20

2.6.2.12	Campo 12: Probabilidad de detección .....	21
2.6.2.13	Campo 13: Índice de riesgo.....	21
2.6.2.14	Campo 14: Acciones preventivas recomendadas .....	22
2.6.2.15	Campo 15: Acciones preventivas adoptadas (condiciones resultantes).....	22
2.7	Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM / MCC).....	23
2.7.1	¿Qué es el RCM?.....	23
2.7.2	Objetivos que persigue.....	23
2.7.3	Confiabilidad operacional (CO) .....	24
2.8	Calendarización de actividades.....	25
CAPÍTULO III: LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE PASTAS LARGAS, LPL.....		26
3.1	Antecedentes de la línea de producción de pastas largas, LPL .....	27
3.1.1	Metodología de mantenimiento actual .....	27
3.1.1.1	Programación preventiva anual.....	27
3.1.1.2	Programación semanal.....	28
3.1.1.3	Mantenimiento correctivo cotidiano.....	28
3.1.1.4	Mantenimiento a través de órdenes de trabajo (OT) .....	28
3.1.1.5	Externalización de los trabajos.....	28
3.1.2	Producción.....	28
3.2	Elaboración de pastas .....	29
3.3	Delimitación y fraccionamiento de la LPL .....	33
3.4	Modelo de criticidad.....	34
3.4.1	Propuesta del modelo.....	34
3.4.1.1	Factores y sus valores.....	34
3.4.1.2	Parámetro para determinar la criticidad .....	36
3.4.2	Llenado de la matriz .....	36
3.4.3	Resultado obtenido de la matriz de criticidad .....	36
3.5	Análisis de resultados y selección de los equipos críticos de la LPL. ....	40
3.5.1	Análisis de resultados.....	40
3.5.2	Selección de subsistemas.....	41
3.6	Características y funciones de los subsistemas seleccionados .....	41
3.6.1	Mezcladora .....	41
3.6.2	Prensa .....	42
3.6.3	Ventilador desmenuzador 1 .....	44
3.6.4	Zona 6.....	45
3.6.5	Cortador.....	46
3.6.6	Cadena extractora.....	47
3.6.7	Ventilador desmenuzador 2 .....	49
3.6.8	Accionamiento línea .....	50
CAPÍTULO IV: PREPARACIÓN DESARROLLO FMECA .....		52

4.1	Consideraciones para el desarrollo del FMECA .....	53
4.2	Árboles jerárquicos de equipos críticos.....	54
4.2.1	Árbol de la Mezcladora.....	54
4.2.2	Árbol de la Prensa.....	55
4.2.3	Árbol del Ventilador desmenuzador 1 y 2 .....	55
4.2.4	Árbol de la Zona 6 .....	56
4.2.5	Árbol del cortador .....	57
4.2.6	Árbol de la Cadena extractora.....	57
4.2.7	Árbol Accionamiento línea.....	58
CAPÍTULO V: DESARROLLO FMECA.....		59
5.1	FMECA 1.1: Mezcladora .....	60
CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y ANÁLISIS FMECA .....		66
6.1	Resultados obtenidos de los FMECA.....	67
6.1.1	Resultado FMECA 1.1: Mezcladora .....	67
6.1.2	Resultado FMECA 1.2: Prensa .....	68
6.1.3	Resultado FMECA 1.3: Ventilador desmenuzador 1 y 2.....	69
6.1.4	Resultado FMECA 1.4: Zona 6 .....	70
6.1.5	Resultado FMECA 1.5: Cortador.....	71
6.1.6	Resultado FMECA 1.6: Cadena extractora .....	72
6.1.7	Resultado FMECA 1.7: Accionamiento línea .....	73
6.2	Determinación de los niveles de impacto según RPN .....	74
6.3	Análisis y discusión de resultados.....	74
CAPÍTULO VII: PLAN DE MANTENIMIENTO .....		85
7.1	Consideraciones para el plan de mantenimiento .....	86
7.1.1	Esquema general programa de mantenimiento .....	87
7.1.2	Filtro de parámetros utilizados en el programa .....	88
7.1.3	Esquema general del plan de lubricación .....	89
7.2	Manual para utilizar el programa de mantenimiento y lubricación.....	90
7.2.1	Pasos del manual .....	90
7.2.1.1	Paso 1: Abrir carpeta y programa .....	90
7.2.1.2	Paso 2: Menú principal.....	90
7.2.1.3	Paso 3: Manejo de la información .....	91
CAPÍTULO VIII: ADMINISTRACIÓN DE LA INFORMACIÓN .....		95
8.1	Planillas de registro de información del plan de mantenimiento .....	96
8.2	Forma general de las planillas de registro del mantenimiento de activos .....	97
8.3	Forma general de las planillas de registro de la lubricación de activos.....	98
8.4	Listado de repuestos .....	99
8.5	Hojas de vida.....	100
CAPÍTULO IX: CONCLUSIONES .....		101

9.1	Conclusiones.....	102
9.2	Recomendaciones.....	103
	BIBLIOGRAFÍA.....	105
	APÉNDICES.....	107
	Apéndice A:.....	108
	Apéndice A.1: .....	108
	Apéndice A.2: .....	110
	Apéndice A.3: .....	110
	Apéndice B.....	111
	Apéndice C.....	115
	Apéndice D.....	118
	Apéndice E .....	121
	FMECA 1.2: Prensa.....	121
	FMECA 1.3: Ventilador desmenuzador 1 y 2 .....	127
	FMECA 1.4: Zona 6 .....	129
	FMECA 1.5: Cortador .....	134
	FMECA 1.6: Cadena extractora .....	138
	FMECA 1.7: Accionamiento línea.....	141
	Apéndice F .....	144

## Índice de figuras

FIGURA 1.1: Etapas principales de la producción de pastas [3].	3
FIGURA 2.1: Resumen evolución del mantenimiento [10].	10
FIGURA 2.2: Flujo de proceso de elaboración FMECA [6] y [12].	14
FIGURA 2.3: Planilla base para el FMECA [6].	14
FIGURA 2.4: Relación entre las fallas, los modos de las fallas y las causas de las fallas [6].	18
FIGURA 2.5: Método de reducción de riesgos [6].	22
FIGURA 2.6: La fiabilidad operacional y sus ejes [15].	24
FIGURA 3.1: Plan anual de mantención para la línea de pasta larga [4].	27
FIGURA 3.2: Diagrama de procesos línea de producción [4].	30
FIGURA 3.3: Layout LPL [3].	33
FIGURA 3.4: Mezcladora de la LPL.	42
FIGURA 3.5: Funciones de la Mezcladora [3] y [16].	42
FIGURA 3.6: Prensa de la LPL.	43
FIGURA 3.7: Funciones de la Prensa [3] y [16].	43
FIGURA 3.8: Ventilador desmenuzador 1.	44
FIGURA 3.9: Funciones Ventilador desmenuzador 1 [3].	44
FIGURA 3.10: Zona 6.	45
FIGURA 3.11: Funciones Zona 6 [3].	45
FIGURA 3.12: Cortador.	46
FIGURA 3.13: Funciones Cortador [3] y [17].	47
FIGURA 3.14: Cadena extractora (cadena y cinta transportadora hacia envasado).	48
FIGURA 3.15: Cadena extractora (cinta salida de restos hacia cortador).	48
FIGURA 3.16: Funciones Cadena extractora [3] y [17].	49
FIGURA 3.17: Ventilador desmenuzador 2.	50
FIGURA 3.18: Funciones Ventilador desmenuzador 2 [3].	50
FIGURA 3.19: Accionamiento línea.	51
FIGURA 3.20: Funciones Accionamiento línea [3].	51
FIGURA 7.1: Esquema general del programa de mantenimiento y sus parámetros.	87
FIGURA 7.2: Filtro "Subsistemas o equipos".	88
FIGURA 7.3: Esquema general programa de lubricación.	89
FIGURA 7.4: Paso 1 - Abrir programa.	90
FIGURA 7.5: Paso 2 - Menú principal programa de mantenimiento.	91
FIGURA 7.6: Paso 3 - Manejo de la información.	92
FIGURA 7.7: Filtro "Subsistemas o equipos".	93
FIGURA 7.8: Filtro "Ítems".	93

FIGURA 7.9: Filtro "Componentes" .....	94
FIGURA 7.10: Filtro "Acción preventiva" .....	94
FIGURA 8.1: Ejemplo de llenado de hoja de registro, plan de mantenimiento del Ventilador desmenuzador 1.....	97
FIGURA 8.2: Ejemplo de llenado de hoja de registro, plan de lubricación Zona 6.....	98
FIGURA 8.3: Menú principal de los listados de repuestos. ....	99
FIGURA A.1: Organigrama general Suazo Gómez S.A [3].....	109
FIGURA A.2: Principales clientes [4].....	110
FIGURA C.1: Resultado auditoria sobre la criticidad de los equipos y ruta de inspección [4].....	117
FIGURA D.1: Carta Gantt del proyecto.....	118-119
FIGURA F.1: Hoja de vida "Accionamiento línea".....	144
FIGURA F.2: Hoja de vida "Accionamiento línea" vista posterior.....	145

## Índice de gráficos

GRÁFICO 3.1: Producción total de pastas secas mensual [4]. .....	29
GRÁFICO 3.2: Porcentajes subsistemas críticos, semicríticos y no críticos de la LPL.....	40
GRÁFICO 6.1: N°CF vs RPN de la Mezcladora. ....	67
GRÁFICO 6.2: N°CF vs RPN de la Prensa.....	68
GRÁFICO 6.3: N°CF vs RPN del Ventilador desmenuzador 1 y 2. ....	69
GRÁFICO 6.4: N°CF vs RPN de la Zona 6.....	70
GRÁFICO 6.5: N°CF vs RPN del Cortador. ....	71
GRÁFICO 6.6: N°CF vs RPN de la Cadena extractora. ....	72
GRÁFICO 6.7: N°CF vs RPN del Accionamiento línea. ....	73
GRÁFICO 6.8: Porcentajes de las causas del total acumulativo de los 7 FMECA realizados. ....	82
GRÁFICO 6.9: Porcentaje de niveles de impacto de las causas del ítem "Accionamiento subsistema". .....	83
GRÁFICO 6.10: Porcentaje de niveles de impacto de las causas del ítem "Transmisión de movimiento y potencia". .....	83

## Índice de tablas

TABLA 2.1: Probabilidad de ocurrencia [6].	20
TABLA 2.2: Tabla de severidad [6].	20
TABLA 2.3: Probabilidad de detección [6].	21
TABLA 3.1: Temperatura y humedad relativa de las zonas 1 a la 9 [3].	32
TABLA 3.2: Subsistemas de la línea de pasta larga [3] y [4].	33
TABLA 3.3: Modelo de criticidad para los subsistemas de la LPL [4].	37
TABLA 3.4: Informe de criticidad de los equipos de la LPL.	39
TABLA 3.5: Selección de subsistemas a estudiar.	41
TABLA 4.1: Árbol jerárquico de la Mezcladora.	54
TABLA 4.2: Árbol jerárquico de la Prensa.	55
TABLA 4.3: Árbol jerárquico del Ventilador desmenuzador 1 y 2.	56
TABLA 4.4: Árbol jerárquico de la Zona 6.	56
TABLA 4.5: Árbol jerárquico del Cortador.	57
TABLA 4.6: Árbol jerárquico de la Cadena extractora.	58
TABLA 4.7: Árbol jerárquico del Accionamiento de línea.	58
TABLA 6.1: Resultado FMECA 1.1; Mezcladora.	67
TABLA 6.2: Resultado FMECA 1.2; Prensa.	68
TABLA 6.3: Resultado FMECA 1.3; Ventilador desmenuzador 1 y 2.	69
TABLA 6.4: Resultado FMECA 1.4; Zona 6.	70
TABLA 6.5: Resultado FMECA 1.5; Cortador.	71
TABLA 6.6: Resultado FMECA 1.6; Cadena extractora.	72
TABLA 6.7: Resultado FMECA 1.7; Accionamiento línea.	73
TABLA 6.8: Niveles de impacto según el valor RPN obtenido.	74
TABLA 6.9: Clasificación en los niveles de impacto de las causas FMECA Mezcladora.	75
TABLA 6.10: Clasificación en los niveles de impacto de las causas FMECA Prensa.	76
TABLA 6.11: Clasificación en los niveles de impacto de las causas FMECA Ventilador desmenuzador 1 y 2.	77
TABLA 6.12: Clasificación en los niveles de impacto de las causas FMECA Zona 6.	78
TABLA 6.13: Clasificación en los niveles de impacto de las causas FMECA Cortador.	79
TABLA 6.14: Clasificación en los niveles de impacto de las causas FMECA Cadena extractora.	80
TABLA 6.15: Clasificación en los niveles de impacto de las causas FMECA Accionamiento línea.	81
TABLA 6.16: Porcentaje y número de causas del total acumulativo de los 7 FMECA realizados.	82
TABLA 6.17: Cantidad de causas de fallas con valor igual o mayor a 91.	84
TABLA 8.1: Listado de repuestos del Ventilador desmenuzador 1.	100
TABLA B.1: Pérdida en horas de las líneas de producción de pastas entre enero y julio del 2015 [4].	111

TABLA B.2: Pérdida por línea [4].....	111
TABLA B.3: Tiempo acumulado de detenciones [4].....	113
TABLA B.4: Detenciones de la línea de pasta larga por mes (en horas), de enero a julio 2015 [4].....	114
TABLA B.5: Orden de importancia de las causas de detención [4].....	115
TABLA C.1: Matriz GUT para determinar priorización y consenso de los proyecto a ejecutar [4].....	115
TABLA C.2: Valor de OEE y sus factores [4].....	116
TABLA D.1: Tareas críticas del proyecto [4].....	120