



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

PROYECTO TÉCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

**“DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN
EL ÁREA DE FIBRA DE LA EMPRESA CARROCERÍAS VARMA S.A. DE
LA CIUDAD DE AMBATO”**

AUTOR: Steven José Vargas Tubón

TUTOR: Ing. Christian Byron Castro Miniguano Mg.

AMBATO - ECUADOR

Septiembre - 2022

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Proyecto Técnico, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **“DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN EL ÁREA DE FIBRA DE LA EMPRESA CARROCERÍAS VARMA S.A. DE LA CIUDAD DE AMBATO.”** realizado por el Sr, Steven José Vargas Tubón, portador de la cédula de ciudadanía C.I. 2300578867. Estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente proyecto técnico es original de su autoría.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, septiembre 2022



.....
Ing. Christian Byron Castro Miniguano Mg.

TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, Steven José Vargas Tubón, con C.I.: 230057887 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Proyecto Técnico con el tema: **“DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN EL ÁREA DE FIBRA DE LA EMPRESA CARROCERÍAS VARMA S.A. DE LA CIUDAD DE AMBATO.”** así también como las fichas de máquinas, análisis estadísticos, tablas, conclusiones y recomendaciones son de exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, septiembre 2022



Steven José Vargas Tubón

C.I. 2300578867

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este proyecto técnico, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación.

Cedo los derechos de línea patrimoniales de mi proyecto técnico, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, septiembre 2022



.....

Steven José Vargas Tubón

C.I. 2300578867

AUTOR

APROBACIÓN DE TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Proyecto Técnico realizado por el estudiante Steven José Vargas Tubón de la Carrera de Ingeniería Mecánica, bajo el tema: **“DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN EL ÁREA DE FIBRA DE LA EMPRESA CARROCERÍAS VARMA S.A. DE LA CIUDAD DE AMBATO.”**

Ambato, septiembre 2022

Para constancia firman:



Ing. Alejandra Marlene Lascano Moreta Mg.
MIEMBRO CALIFICADOR



Ing. Víctor Rodrigo Espín Guerrero Mg.
MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

A Dios por ayudarme en todo momento y haberme permitido cumplir este objetivo, que con su amor, fortaleza y fe se puede atravesar cada adversidad que nos pone la vida.

A mis padres José y Susana quienes me dieron la vida, por ser los promotores de este sueño, gracias a ellos que con su infinito amor y sacrificio supieron cuidarme y siempre desear lo mejor para mí, por nunca dejarme solo cuando más lo necesitaba y por siempre confiar en mí.

A mi hermosa novia Joselyn Benítez por estar en mis triunfos y fracasos, por preocuparte por mí a cada momento, eres mi inspiración y motivación, a su familia por brindarme todo su amor y apoyo incondicional.

A mis hermanas María y Lisseth por estar siempre presentes, con su cariño y apoyo incondicional, por creer en mí en todo este proceso siempre las voy a cuidar. A mi abuelita Maruja que con sus oraciones y consejos me acompañó en esta carrera universitaria. A mi familia que me aportó con todo su apoyo tanto académica como ser humano y de una forma u otra me acompañan en todas mis metas.

Steven Vargas

AGRADECIMIENTO

Primeramente agradecer a la Universidad Técnica de Ambato, a especial a la Carrera de Ingeniería Mecánica y a quienes fueron mis profesores quienes nos impartieron todo su conocimiento.

A mi tutor Ing. Mg Christian Castro que con su paciencia y apoyo brindado me ayudo a culminar el desarrollo de mi proyecto de titulación.

Finalmente un agradecimiento a todo el personal de Carrocerías Varma, por darme una oportunidad y poder realizar mi trabajo de titulación en especial a mi tutor empresarial Ing. José Alarcón por compartirme sus conocimientos y consejos.

Steven Vargas

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

PÁGINAS PRELIMINARES

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DE TRIBUNAL DE GRADO.....	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Antecedentes investigativos	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo general.....	2
1.2.2. Objetivos específicos	2
1.3. Marco teórico	3
1.3.1. Mantenimiento industrial	3
1.3.2.1. Mantenimiento correctivo	4
1.3.2.2. Mantenimiento predictivo	6
1.3.2.3. Mantenimiento preventivo	7
1.3.5.1. Plan de mantenimiento basado en fabricantes.....	9
1.3.5.2. Plan de mantenimiento basado en protocolos	10
1.3.5.3. Plan de mantenimiento basado en confiabilidad (MCC)	10
1.3.12.1. Modelo matemático de Weibull.....	19
1.3.12.2. Modelo gráfico de Weibull	21
1.3.13. Normativas legales.....	28

1.3.13.1	NTP 331 Fiabilidad: la distribución de Weibull	28
1.3.13.2	NTP 679 Análisis modal de fallos y efectos. AMFE	28
1.3.14.	Compresor de aire de tornillo.....	28
1.3.15.	Aspersor de fibra de vidrio.....	30
1.3.16.	Mezcladora de resina	31
1.3.17.	Cuarto de secado	32
CAPÍTULO II		33
METODOLOGÍA		33
2.1.	Materiales y recursos	33
2.1.1	Recursos Humanos.....	33
2.1.2	Recursos Institucionales.....	33
2.1.3	Recursos Materiales	33
2.2.	Métodos	33
2.3.	Modalidad de la investigación.....	34
2.3.1.	Investigación aplicada.....	34
2.3.2.	Bibliografía documental.....	34
2.3.3.	Investigación de campo.....	34
2.3.4.	Desarrollo del proyecto	34
CAPÍTULO III		36
DESARROLLO DEL PROYECTO		36
3.1.	Modelo Operativo.....	36
3.1.1.	Identificación de la situación actual.....	36
3.1.3.	Evaluación externa de la maquinaria	39
3.1.4.	Fichas Técnicas	41
3.1.5.	Mezcladora MK 160 Collomix Xo6R.....	42
3.1.6.	Compresor de aire de tornillo.....	83
3.1.7.	Aspersor de fibra de vidrio.....	124
3.1.8.	Cuarto de secado	165
3.1.9.	Resumen e Interpretación del AMFE del Área de fibra de vidrio	201
3.1.10.	Resumen e Interpretación del análisis de Criticidad del Área de fibra de vidrio.....	202
CAPÍTULO IV		203
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		203

4.1. Conclusiones	203
4.2. Recomendaciones.....	204
BIBLIOGRAFÍA	206
ANEXOS	212

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Evolución del mantenimiento a lo largo del tiempo. [7].....	3
Figura 2: Tipos de plan de mantenimiento [11].....	4
Figura 3: Técnicas predictivas [12]	6
Figura 4: Plan de mantenimiento inicial [9]	10
Figura 5: Formato de inventario de equipos [29]	11
Figura 6: Clasificación taxonómica con niveles taxonómicos [22].....	12
Figura 7: Matriz AMFE [26].....	14
Figura 8: Cuadro de valoraciones AMFE [26]	15
Figura 9: Matriz de criticidad. [36].....	18
Figura 10: Ejemplo del método gráfico en el papel de Weibull. [39]	23
Figura 11: Obtención de los parámetros de β y Pu . [39]	24
Figura 12: Determinación del valor de la media MTBF. [39]	25
Figura 13: Determinación del valor de 'n estimado'. [39].....	26
Figura 14: Curva de la bañera. [42]	27
Figura 15: Principio de funcionamiento de un compresor de tornillo doble. [44].....	29
Figura 16: Compresor de tornillo de la empresa VARMA S.A.....	29
Figura 17: Aspensor de fibra de vidrio de la empresa VARMA S.A.	30
Figura 18: Mezcladora con varillas MK160 de la empresa VARMA S.A.	31
Figura 19: Cuarto de secado de la empresa VARMA S.A.	32
Figura 20: Diagrama de flujo del desarrollo del proyecto investigativo.	35
Figura 21: Gráfica de MTBF (h) vs D (%) de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R	51
Figura 22: Gráfica de MTTR (h) vs D (%) de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R.....	51
Figura 23: Gráfica de fiabilidad R(t) vs tiempo de operación T_o de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R.....	64
Figura 24: Papel de Weibull para la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R	67
Figura 25: Gráfica de Fiabilidad vs Tiempo de operación de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R.....	70
Figura 26: Gráfica de MTBF (h) vs D (%) del compresor de aire de tornillo.	93
Figura 27: Gráfica de MTTR (h) vs D (%) del compresor de aire de tornillo.	93
Figura 28: Gráfica de fiabilidad R(t) vs tiempo de operación T_o del compresor de aire de tornillo.....	107
Figura 29: Papel de Weibull para el compresor de aire de tornillo.	109
Figura 30: Gráfica de Fiabilidad vs Tiempo de operación del compresor de aire de tornillo.	111
Figura 31: Gráfica de MTBF (h) vs D (%) del aspensor de fibra de vidrio.	136
Figura 32: Gráfica de MTTR (h) vs D (%) del aspensor de fibra de vidrio.	136
Figura 33: Gráfica de fiabilidad R(t) vs tiempo de operación T_o del aspensor de fibra de vidrio.....	148
Figura 34: Papel de Weibull para el aspensor de fibra de vidrio.....	150
Figura 35: Gráfica de Fiabilidad vs Tiempo de operación del aspensor de fibra de vidrio.....	152
Figura 36: Gráfica de MTBF (h) vs D (%) del cuarto de secado.....	174
Figura 37: Gráfica de MTTR (h) vs D (%) del cuarto de secado.	174
Figura 38: Gráfica de fiabilidad R(t) vs tiempo de operación T_o del cuarto de secado. ...	184
Figura 39: Papel de Weibull para el cuarto de secado.....	186
Figura 40: Gráfica de Fiabilidad vs Tiempo de operación del cuarto de secado.....	188

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ventajas y desventajas del mantenimiento correctivo. [12]	5
Tabla 2: Ventajas y desventajas del Mantenimiento Preventivo [12]	7
Tabla 3: Criterios de Severidad AMFE [33]	15
Tabla 4: Criterios de Ocurrencia AMFE [33]	16
Tabla 5: Criterios de Detección AMFE [33]	16
Tabla 6: Tabla de valores de porcentaje de falla [40] [41]	22
Tabla 7: Recursos Humanos.	33
Tabla 8: Inventario general por áreas de las principales máquinas de la empresa 'VARMA S.A.'	37
Tabla 9: Características técnicas y condiciones de servicio de la mezcladora de resina MK 160 de la empresa 'VARMA S.A.'	39
Tabla 10: Características técnicas y condiciones de servicio del compresor de aire de tornillo de la empresa 'VARMA S.A.'	40
Tabla 11: Características técnicas y condiciones de servicio del aspersor de fibra de vidrio de la empresa 'VARMA S.A.'	40
Tabla 12: Características técnicas y condiciones de servicio del cuarto de secado de la empresa 'VARMA S.A.'	41
Tabla 13: Ficha Técnica de la mezcladora de resina MK 160.	42
Tabla 14: Componentes de la mezcladora de resina 'MK 160 Collomix Xo6R' [48].....	43
Tabla 15: Componentes de la mezcladora de resina 'MK 160 Collomix Xo6R'(continuación) [48].....	44
Tabla 16: Repuestos disponibles para la mezcladora de resina 'MK 160 Collomix Xo6R'. 44	
Tabla 17: Frecuencia y actividades de mantenimiento, limpieza y lubricación de la mezcladora de resina MK 160 Collomix Xo6R' [48].....	46
Tabla 18: Estadístico de mantenimiento anual de la Mezcladora de MK 160 Collomix Xo6R	47
Tabla 19: Valoraciones para índices para la Matriz AMFE [43]	52
Tabla 20: Matriz AMFE de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R.....	53
Tabla 21: Criterio para evaluar Frecuencia de Fallas	56
Tabla 22: Criterio para evaluar Impacto Operacional.....	56
Tabla 23: Criterio para evaluar Flexibilidad Operacional	56
Tabla 24: Criterio para evaluar Costos de Mantenimiento	56
Tabla 25: Criterio para evaluar Impacto de Seguridad Ambiental y Humana.....	57
Tabla 26: Cálculo de criticidad de la Mezcladora MK 160 Collomix Xo6R.....	57
Tabla 27: Matriz de criticidad de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R.....	58
Tabla 28: Datos estadísticos de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R.....	58
Tabla 29: Datos calculados para obtener el valor de la varianza de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R.....	60
Tabla 30: Datos calculados en base a estadísticos de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R	62
Tabla 31: Cálculos de fiabilidad e infiabilidad de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R. 63	
Tabla 32: Datos del porcentaje de falla acumulativa F(i)	65
Tabla 33: Parámetros de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R	68
Tabla 34: Cálculo de la fiabilidad mediante el método gráfico de Weibull.....	68
Tabla 35: Frecuencia de aplicación de las actividades de mantenimiento.....	70

Tabla 36: Gama de mantenimiento de enero de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R ...	71
Tabla 37: Gama de mantenimiento de febrero de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R.	72
Tabla 38: Gama de mantenimiento de marzo de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R ..	72
Tabla 39: Gama de mantenimiento de abril de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R.....	73
Tabla 40: Gama de mantenimiento de mayo de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R ...	74
Tabla 41: Gama de mantenimiento de junio de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R....	75
Tabla 42: Gama de mantenimiento de julio de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R.....	76
Tabla 43: Gama de mantenimiento de agosto de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R..	77
Tabla 44: Gama de mantenimiento de septiembre de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R	78
Tabla 45: Gama de mantenimiento de octubre de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R	79
Tabla 46: Gama de mantenimiento de noviembre de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R	80
Tabla 47: Gama de mantenimiento de diciembre de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R	81
Tabla 48: Ficha Técnica del compresor de aire de tornillo.....	83
Tabla 49: Componentes del compresor de aire de tornillo	84
Tabla 50: Componentes del compresor de aire de tornillo (continuación).	85
Tabla 51: Repuestos disponibles para el compresor de aire de tornillo.....	86
Tabla 52: Frecuencia y actividades de mantenimiento y limpieza del compresor de aire de tornillo de Varma S.A.	88
Tabla 53: Estadístico de mantenimiento anual del compresor de aire de tornillo Atlas Copco GA22VSD.....	89
Tabla 54: Matriz AMFE del compresor de aire de tornillo.....	94
Tabla 55: Cálculo de Criticidad del Compresor de aire de tornillo	102
Tabla 56: Matriz de criticidad del Compresor de aire de tornillo.....	103
Tabla 57: Datos estadísticos del compresor de aire de tornillo.....	104
Tabla 58: Datos calculados para obtener el valor de la varianza del compresor de aire de tornillo.....	105
Tabla 59: Datos calculados en base a estadísticos del compresor de aire de tornillo.	106
Tabla 60: Cálculos de fiabilidad e infiabilidad del compresor de tornillo.....	106
Tabla 61: Cálculos de fiabilidad e infiabilidad del compresor de tornillo (continuación)..	107
Tabla 62: Datos del porcentaje de falla acumulativa $F(i)$ del compresor de aire de tornillo.	108
Tabla 63: Parámetros del compresor de aire de tornillo.	110
Tabla 64: Cálculo de la fiabilidad del compresor de aire de tornillo mediante el método gráfico de Weibull.....	110
Tabla 65: Gama de mantenimiento de enero del compresor de aire de tornillo.	112
Tabla 66: Gama de mantenimiento de febrero del compresor de aire de tornillo.....	113
Tabla 67: Gama de mantenimiento de marzo del compresor de aire de tornillo.	114
Tabla 68: Gama de mantenimiento de abril del compresor de aire de tornillo.....	115
Tabla 69: Gama de mantenimiento de mayo del compresor de aire de tornillo.	116
Tabla 70: Gama de mantenimiento de junio del compresor de aire de tornillo.	117
Tabla 71: Gama de mantenimiento de julio del compresor de aire de tornillo.	118
Tabla 72: Gama de mantenimiento de agosto del compresor de aire de tornillo.....	119
Tabla 73: Gama de mantenimiento de septiembre del compresor de aire de tornillo.....	120

Tabla 74: Gama de mantenimiento de octubre del compresor de aire de tornillo.	121
Tabla 75: Gama de mantenimiento de noviembre del compresor de aire de tornillo.	122
Tabla 76: Gama de mantenimiento de diciembre del compresor de aire de tornillo.....	123
Tabla 77: Ficha técnica del aspersor de fibra de vidrio.	124
Tabla 78: Componentes del aspersor de fibra de vidrio.....	125
Tabla 79: Componentes del aspersor de fibra de vidrio (continuación).	126
Tabla 80: Repuestos disponibles para el aspersor de fibra de vidrio	127
Tabla 81: Frecuencia y actividades de mantenimiento y limpieza del aspersor de fibra de vidrio.	130
Tabla 82: Estadístico de mantenimiento anual del cuarto de secado	131
Tabla 83: Matriz AMFE del aspersor de fibra de vidrio.....	137
Tabla 84: Cálculo de Criticidad del Aspersor de fibra de vidrio	142
Tabla 85: Matriz de criticidad del Aspersor de fibra de vidrio	143
Tabla 86: Datos estadísticos del aspersor de fibra de vidrio.....	144
Tabla 87: Datos calculados para obtener el valor de la varianza del aspersor de fibra de vidrio.....	145
Tabla 88: Datos calculados para obtener el valor de la varianza del aspersor de fibra de vidrio (continuación).....	146
Tabla 89: Datos calculados en base a estadísticos del aspersor de fibra de vidrio.	146
Tabla 90: Cálculos de fiabilidad e infiabilidad del aspersor de fibra de vidrio.	146
Tabla 91: Datos del porcentaje de falla acumulativa $F(i)$ del aspersor de fibra de vidrio. .	148
Tabla 92: Parámetros del aspersor de fibra de vidrio.....	150
Tabla 93: Cálculo de la fiabilidad del aspersor de fibra de vidrio mediante el método gráfico de Weibull.....	151
Tabla 94: Gama de mantenimiento de enero del aspersor de fibra de vidrio.....	153
Tabla 95: Gama de mantenimiento de febrero del aspersor de fibra de vidrio.	154
Tabla 96: Gama de mantenimiento de marzo del aspersor de fibra de vidrio.....	155
Tabla 97: Gama de mantenimiento de abril del aspersor de fibra de vidrio.	156
Tabla 98: Gama de mantenimiento de mayo del aspersor de fibra de vidrio.....	157
Tabla 99: Gama de mantenimiento de junio del aspersor de fibra de vidrio.	158
Tabla 100: Gama de mantenimiento de julio del aspersor de fibra de vidrio.	158
Tabla 101: Gama de mantenimiento de agosto del aspersor de fibra de vidrio.	159
Tabla 102: Gama de mantenimiento de septiembre del aspersor de fibra de vidrio.	160
Tabla 103: Gama de mantenimiento de octubre del aspersor de fibra de vidrio.....	161
Tabla 104: Gama de mantenimiento de noviembre del aspersor de fibra de vidrio.....	162
Tabla 105: Gama de mantenimiento de diciembre del aspersor de fibra de vidrio.....	163
Tabla 106: Ficha técnica cuarto de secado.	165
Tabla 107: Componentes del cuarto de secado.....	167
Tabla 108: Repuestos disponibles para el cuarto de secado.	168
Tabla 109: Frecuencia y actividades de mantenimiento y limpieza del cuarto de secado de Varma S.A.....	169
Tabla 110: Estadístico de mantenimiento anual del cuarto de secado.....	170
Tabla 111: Matriz AMFE del cuarto de secado.	175
Tabla 112: Cálculo de Criticidad del Cuarto de secado.....	179
Tabla 113: Matriz de criticidad del Cuarto de secado	180
Tabla 114: Datos estadísticos del cuarto de secado	180

Tabla 115: Datos estadísticos del cuarto de secado (continuacion).....	181
Tabla 116: Datos calculados para obtener el valor de la varianza del cuarto de secado.....	181
Tabla 117: Datos calculados para obtener el valor de la varianza del cuarto de secado (continuación).	182
Tabla 118: Datos calculados en base a estadísticos del cuarto de secado.....	182
Tabla 119: Cálculos de fiabilidad e infiabilidad del cuarto de secado.....	182
Tabla 120: Datos del porcentaje de falla acumulativa F(i) del cuarto de secado.....	184
Tabla 121: Parámetros del cuarto de secado.....	186
Tabla 122: Cálculo de la fiabilidad del cuarto de secado mediante el método gráfico de Weibull.....	187
Tabla 123: Cálculo de la fiabilidad del cuarto de secado mediante el método gráfico de Weibull (continuación).	188
Tabla 124: Gama de mantenimiento de enero del cuarto de secado.....	189
Tabla 125: Gama de mantenimiento de febrero del cuarto de secado	190
Tabla 126: Gama de mantenimiento de marzo del cuarto de secado.....	191
Tabla 127: Gama de mantenimiento de abril del cuarto de secado.....	192
Tabla 128: Gama de mantenimiento de mayo del cuarto de secado.....	193
Tabla 129: Gama de mantenimiento de junio del cuarto de secado.....	194
Tabla 130: Gama de mantenimiento de julio del cuarto de secado.....	195
Tabla 131: Gama de mantenimiento de agosto del cuarto de secado	196
Tabla 132: Gama de mantenimiento de septiembre del cuarto de secado	197
Tabla 133: Gama de mantenimiento de octubre del cuarto de secado.....	198
Tabla 134: Gama de mantenimiento de noviembre del cuarto de secado.....	199
Tabla 135: Gama de mantenimiento de diciembre del cuarto de secado.....	200
Tabla 136: Resumen AMFE del Área de fibra de vidrio	201
Tabla 137: Resumen Matriz de Criticidad del Área de fibra de vidrio.....	202
Tabla 138: Matriz de criticidad del Área de Fibra de vidrio.....	202

RESUMEN

La importancia de un mantenimiento en las máquinas de una empresa ayuda a predecir daños en componentes, reducir gastos y alargar la vida útil de sus componentes.

Por lo que finalidad del siguiente proyecto es el de realizar un mantenimiento preventivo en las máquinas del área de fibra de vidrio Carrocerías Varma, partiendo de un inventario de la maquinaria en donde se recolectaron datos estadísticos, tiempos de operación, valoración externa creando así fichas técnicas en donde se detalla la información de cada máquina procediendo primeramente a aplicar el cálculo de la disponibilidad, análisis de fallos con la matriz AMFE en concordancia con la NTP 679, Análisis de Criticidad y por último se procedió aplicar el modelo matemático y gráfico Weibull bajo la NTP 331 con el fin de determinar la fiabilidad que posee cada una de las máquinas. Obteniendo como resultado valores numéricos y parámetros de cada máquina necesarios para estructurar gamas de mantenimiento realizando actividades preventivas con sus respectivas frecuencias de tiempo en el trabajo diario, garantizando a mejorar la funcionalidad de las máquinas y equipos prologando así la vida útil y dando una mayor rentabilidad a la empresa

PALABRAS CLAVES: Mantenimiento preventivo, matriz AMFE, Nota Técnica de Prevención NTP 679, Nota Técnica de Prevención NTP 331, Análisis de Criticidad, Weibull.

ABSTRACT

The importance of maintenance in the machines of a company helps us to predict damage to components, reduce costs and extend the life of its components.

For this reason, the objective of the following project is to do a preventive maintenance in the machines of the fiberglass area of Carrocerías Varma, starting from an inventory of the machinery where statistical data were collected, operation times, external valuation, creating technical data sheets where the information of each machine is detailed, external valuation creating technical data sheets detailing the information of each machine proceeding first to apply the calculation of availability, failure analysis with the AMFE matrix in accordance with NTP 679, Criticality Analysis and finally proceeded to apply the mathematical model and graphical Weibull under the NTP 331 in order to determine the availability of each of the machines. As a result, numerical values and parameters of each machine were obtained, necessary to structure maintenance schedules carrying out preventive activities with their respective frequencies of time in the daily work, ensuring to improve the functionality of the machines and equipment, thus extending the useful life and giving a greater rentability to the company.

KEY WORDS: Preventive maintenance, AMFE matrix, Technical Prevention Note NTP 679, Technical Prevention Note NTP 331, Criticality Analysis, Weibull.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes investigativos

Con el pasar del tiempo, el nivel industrial ha ido en crecimiento en diferentes áreas, de tal manera que la maquinaria, equipos y cada uno de los componentes industriales tiene un gran protagonismo y crecimiento tecnológico en aumento. Es así como surge la necesidad de potenciar el mantenimiento industrial, siendo de vital importancia para previniendo posibles fallos de las máquinas que puedan conllevar a pérdidas económicas en las diferentes organizaciones y de igual manera garantizar la fiabilidad de productos en los diferentes procesos. Según J. Milanés [1] en su investigación menciona que el manteniendo tiene una gran relevancia ya que aporta con beneficios desde alargar la vida útil de la maquinaria hasta la toma de decisiones para reducir costos, disminuir el consumo de energía, enfocado no solo en las fallas que se ocasiona sino en garantizar el correcto control de los procesos.

Para un correcto mantenimiento industrial es necesario proveer de un plan estratégico enfocado al mantenimiento de los equipos que se encuentran en la empresa en base a las respectivas normativas vigentes. Mediante un plan de gestión de mantenimiento preventivo realizado por una investigación de grado para la empresa INGESA en Cajamarca-Perú, al analizar los resultados se determinó la disminución en un 62% de los problemas de mantenimiento que tenía la empresa, logrando reducir de un 100 % a un 38% de las causas que originaban la serie de fallas [2].

Existen algunos tipos de mantenimiento que se puede implementar para realizar el mantenimiento industrial, entre uno de ellos se encuentra el mantenimiento preventivo, el cual es de vital importancia ya que consiste planificar actividades de inspección, reposición, pruebas y reparaciones que se lleva a cabo en tiempos definidos F. Freire determinó que al implementar un plan con este tipo de mantenimiento mediante la distribución de Weibull, la fiabilidad en las inyectoras fue de un 93.65 % con un tiempo de 28 horas en operación y 85.79 % durante un tiempo de 29,5 horas [3].

Según la investigación de J. Ramos [4] menciona que, con la implementación del plan preventivo, logró un aumento en la disponibilidad de la maquinaria más del 10%, mejorando el rendimiento de producción. Por otro lado, C. Alavedra [5] y colaboradores según su estudio al analizar la gestión de este tipo de mantenimiento y la disponibilidad, mediante los resultados de la regresión múltiple, se determinó los valores acordes para mantener el correcto mantenimiento, para poder corregir las fallas en función de sus indicadores.

1.2.Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Desarrollar de un plan de mantenimiento preventivo en el área de fibra de la empresa Carrocerías Varma S.A. de la ciudad de Ambato.

1.2.2. Objetivos específicos

- **Determinar el estado actual de la maquinaria del área de fibra a través del análisis de fallos y modos de fallo AMFE y el cálculo de la disponibilidad en concordancia con la NTP 679.**

Se empleó la nota técnica de prevención NTP 679 para elaborar la matriz AMFE, haciendo énfasis en tres parámetros importantes como: gravedad del daño, ocurrencia o frecuencia y detectabilidad enfocado en dirección al fallo de la máquina. Permitiendo así, a través de estos parámetros establecer ciertos criterios ponderados y desarrollar la matriz AMFE, la cual muestra los elementos que llegan a fallar con una frecuencia mayor.

- **Establecer las partes críticas de la maquinaria según la matriz de criticidad.** Partiendo de la matriz AMFE, se realizó la matriz llamada “criticidad” debido a que esta ayuda a conocer de una manera rápida cuál de los componentes, elementos o partes de la máquina es más propenso a la avería y necesita mayor atención, guiándose para un mejor análisis de un sistema de colores adecuado [6].

- **Estructurar las gamas y bitácoras de mantenimiento preventivo para la maquinaria en el área de fibra de la empresa Carrocerías Varma S.A.**

Una vez culminada la matriz AMFE se identificaron ciertos parámetros para el mantenimiento preventivo, los cuales fueron agrupados en un estadístico de fallas con la finalidad de determinar la fiabilidad que tendrán las máquinas del área especificada, a través de la nota técnica de prevención NTP 331 en donde se detallan los pasos a seguir para el cálculo de estos parámetros. Esta última fue determinada mediante dos métodos, matemático y gráfico con los datos obtenidos del estadístico de fallas dicho anteriormente, y a partir de las ecuaciones estadísticas de la distribución de Weibull.

1.3. Marco teórico

1.3.1. Mantenimiento industrial

El mantenimiento industrial es una de las actividades que surgió en el transcurso de la revolución industrial (figura 1), asegurando así el correcto funcionamiento y operación de la maquinaria. Con el avance del tiempo, se ha ido utilizando en diferentes sectores industriales y académicos dentro de un plan de mantenimiento, permitiendo reforzar el entorno de trabajo y obtener grandiosos resultados en la aplicación de este (figura 1) [7].

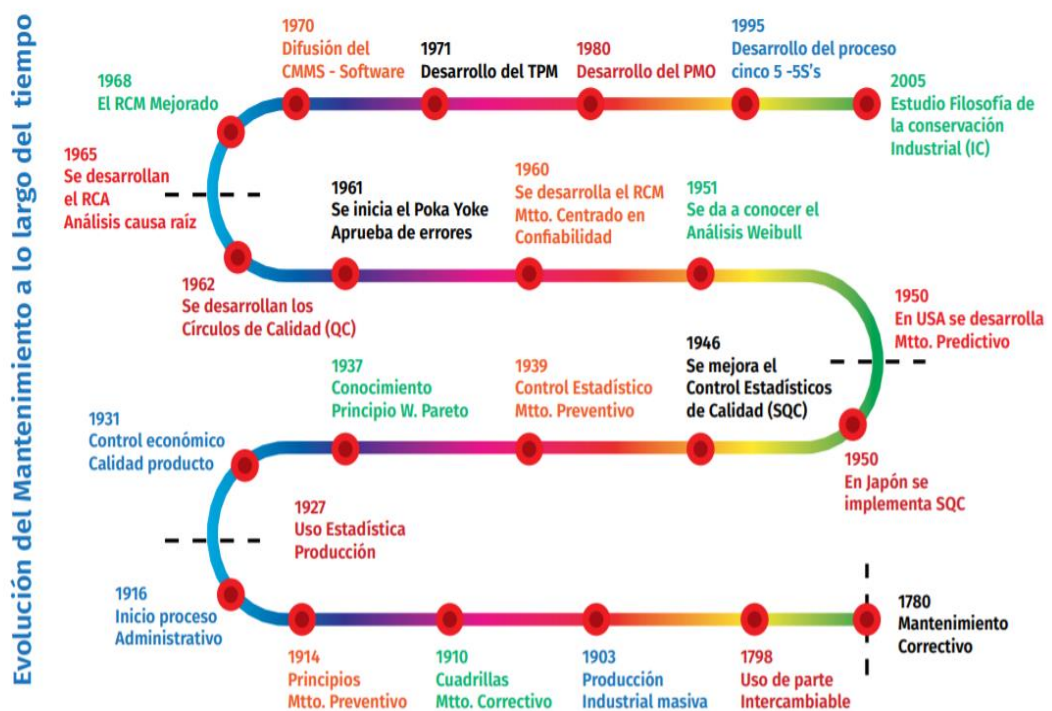


Figura 1: Evolución del mantenimiento a lo largo del tiempo. [7]

1.3.2. Tipos de mantenimiento industrial

Existen actualmente diversos sistemas para el servicio de mantenimiento en las instalaciones de operación. Muchos de ellos no solo se enfocan en corregir fallos, sino que también actúan antes de la aparición de estos [8]. Dependiendo de las necesidades o problemas que presente la maquinaria se determina el tipo de mantenimiento (conocidos también como estrategias de mantenimiento) que sea necesario aplicar [9], obedeciendo a las políticas y estrategias en función de los lineamientos de los niveles altos de la organización (figura 2) [10].

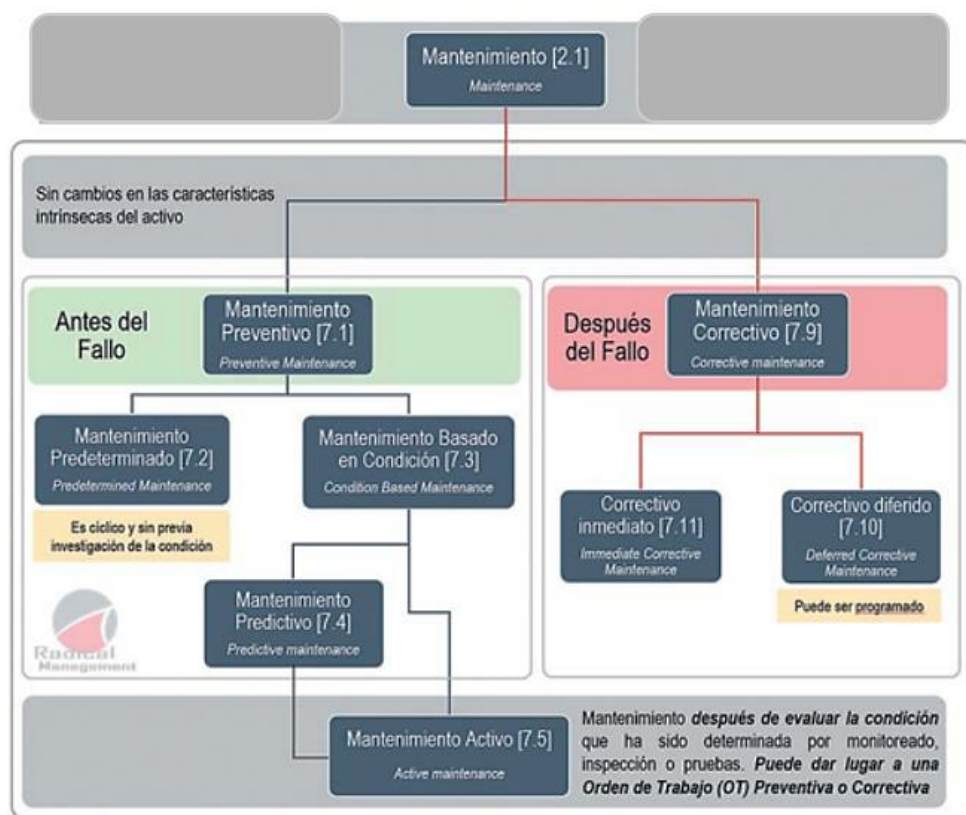


Figura 2: Tipos de plan de mantenimiento [11]

1.3.2.1. Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo también denominado mantenimiento reactivo. Se aplica cuando la máquina presenta falla o deja de funcionar, por el uso o el agotamiento de la vida útil, de tal manera que involucra todo tipo de actividades de restauración, desde un ajuste simple, hasta el remplazo de alguna pieza o de la maquinaria en su totalidad. Con el objetivo de poner en funcionamiento en el menor tiempo posible, sin afectar la

productividad [12]. Este tipo de mantenimiento es necesario en sistemas donde no se pueda identificar fácilmente las fallas o donde el remplazo de este o alguna parte en concreto no represente problemas mayores [13].

Existen dos clases de mantenimiento correctivo:

Mantenimiento correctivo programado o planificado: Se activa al producirse una falla en la máquina, ocasionando la parada respectiva, con la finalidad de quitar lo averiado y reponer el componente que puede ser nuevo o usado. Por lo que se dispone del personal calificado, los respectivos repuestos y los documentos técnicos necesarios para el proceso [12] [14].

Mantenimiento correctivo no programado o no planificado: Consiste en el mantenimiento al detectar de emergencia el fallo en algún componente del equipo, por una avería o incumplimiento de la normativa, de tal manera que se programa el mantenimiento inmediato para corregir la falla (tabla 1) [14].

Tabla 1: Ventajas y desventajas del mantenimiento correctivo. [12]

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Alarga la vida útil de los equipos por las reparaciones o cambios de los componentes que tengan fallas.	La falla puede aparecer en momentos imprevistos.
Es posible determinar la falla.	Las fallas no detectadas a tiempo ocasionan daños más complejos, de los cuales pueden ser irreparables y ocasionar la pérdida del equipo.
No genera gastos fijos.	Alto inventario de repuestos.
Sin programar ni prever ninguna actividad.	La producción se vuelve impredecible y poco fiable.
El gasto económico solo se lo realiza cuando sea necesario.	Se crean inseguridades económicas, que pueden ser muy relevantes
Se ofrece buen resultado a corto plazo	La vida útil de los equipos se disminuye.

1.3.2.2. Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo radica en utilizar técnicas de datos e inteligencia artificial para determinar los fallos, anomalías o averías de la maquinaria [15]. Este tipo de mantenimiento relaciona variables que participan en las fallas de los equipos, es decir asocian parámetros físicos (temperatura, consumo de energía, vibración, etc.) con el deterioro de la máquina, cuya variación indique el problema que pueda presentar el equipo [16] [17].

Esta técnica puede requerir medios avanzados, al igual que conocimientos matemáticos, físicos y técnicos para planificar las tareas de mantenimiento y restauración de los equipos [9]. Para llegar al objetivo se debe contar con sensores capaces de evaluar los parámetros durante el funcionamiento, de tal manera que se gestionan valores de alarma, como signos de advertencia y de actuación de las variables más relevantes a medir, que ayuden a determinar las partes que no están funcionando adecuadamente. Las técnicas que se aplican en este tipo de mantenimiento se las denomina “técnicas predictivas” las cuales dependen del tipo de proceso y equipo (Figura 3) [12].



Figura 3: Técnicas predictivas [12]

1.3.2.3. Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo también denominado mantenimiento planificado consiste en actividades planificadas de inspecciones, reposiciones, pruebas y reparaciones que se llevan a cabo, en periodos definidos [18]. Con el objetivo de reducir las fallas y la continuidad de la producción. Los fallos anticipados de los componentes, equipos o de la maquinaria previstos mediante este tipo de mantenimiento [12], evitan las paradas de los equipos, evitando así las pérdidas económicas que se pueden generar, estabilizando y garantizando el flujo de producción como el económico (tabla 2) [19].

Tabla 2: Ventajas y desventajas del Mantenimiento Preventivo [12]

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Disminuye fallas y los tiempos muertos (aumentando la capacidad de las máquinas, equipos y piezas).	Se genera incremento de costos, de acuerdo con los programas que se inician
La vida útil de la maquinaria aumenta.	
Mejor efectividad en el uso de los recursos.	Para iniciar es necesario tener tiempo extra al igual que personal de mantenimiento, realizar búsqueda de información.
Se reduce los niveles de inventarios de los repuestos.	
Hay ahorros económicos a largo plazo.	
Se crean planes de mantenimiento.	Se necesita tiempo para transferir la información recopilada.
Se crea indicadores de desempeños.	
Se implementa un buen programa de lubricación.	Se necesita técnicos de mantenimiento, trabajo de campo, conocer la taxonomía de los equipos, los materiales y disponer de tiempo.
Disminuye el pago de horas extras que se generan.	Se necesita costos para la capacitación del personal.

1.3.3. Objetivos del mantenimiento

El principal objetivo del mantenimiento se trata de conservar todos los bienes que componen la organización industrial que estén relacionados con el servicio de producción, en las mejores condiciones para su funcionamiento, con niveles buenos de calidad y a menor costo [12].

Entre otros objetivos más relevantes se encuentran los siguientes:

- Disponibilidad trata de la probabilidad de que la máquina o equipo pueda trabajar sin ningún inconveniente cada vez que se necesite.
- Confiabilidad trata de que la máquina pueda operar cada vez que el usuario requiera.
- Incrementar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos o maquinas al máximo con su mantenimiento adecuado [12].

1.3.4. Plan de mantenimiento

El plan de mantenimiento es una estructura de tareas programadas, basado en un modelo de gestión que define los programas de mantenimiento realizados, con la finalidad de mejorar la efectividad de los activos y definir la frecuencia de las variables a controlar, al igual que los recursos, los procedimientos y el presupuesto para cada actividad. Además, influye en la confiabilidad de un proceso, ya que se constituye solo las tareas necesarias, de tal manera que estas sean fundamentales para no provocar pérdidas significativas en empresa [20].

Dichos planes se estructuran en base a las normativas internacionales NORMAS ISO que proporcionan procesos administrativos, financieros y de apoyo en mantenimiento, de tal manera que ayuda a prevenir los tiempos muertos de la producción [21]. Uno de sus principales objetivos al realizar un plan de mantenimiento se basa en entender el accionar y el funcionamiento de este, que permita tomar adecuadas decisiones y mejora continua [22].

Cada plan de mantenimiento abarca tres tipos de actividades a cumplir:

- Actividades de rutina que se realizan diariamente, las lleva a cabo el equipo operador o usuario.
- Actividades programadas que se realizan en el transcurso del año.
- Actividades que se realizan en los paros programados [20].

1.3.5. Tipo de plan de mantenimiento

Entre los tipos de plan de mantenimiento más utilizados según su función y su estructura, se denominan; basados en fabricantes, en protocolos y en MCC.

1.3.5.1. Plan de mantenimiento basado en fabricantes

Se denomina plan inicial basado en las instrucciones del fabricante, que también incluye las aportaciones propuestas por los que se encuentran responsables del mantenimiento en base a la experiencia y a los conocimientos legales en el mantenimiento de los equipos [23]. Este tipo de plan de mantenimiento está compuesto de tres fases (figura 4):

Primera fase: Recopilación de instrucciones.

En esta etapa se realiza el plan de mantenimiento de los diferentes equipos que se encuentran en la planta, según las recomendaciones de los fabricantes, lo que consiste en recopilar las indicaciones puestas en los manuales de operación de la maquinaria y estructurarles según el formato predeterminado [24].

Segunda fase: Experiencia del personal de mantenimiento.

Luego de la recopilación de las respectivas indicaciones de los manuales es conveniente tener la experiencia de las personas encargadas del mantenimiento o los técnicos, con la finalidad de traducir las indicaciones y realizar algunas actividades que tal vez no se encuentren inscritas en las indicaciones del fabricante [24].

Tercera fase: Mantenimiento legal.

Finalmente hay que tener en cuenta en cumplimiento de las normativas reglamentarias que están vigentes. Es así, como el plan obligatoriamente debe estar basado en el reglamento legal relacionado con el mantenimiento de equipos industriales (figura 4) [24].

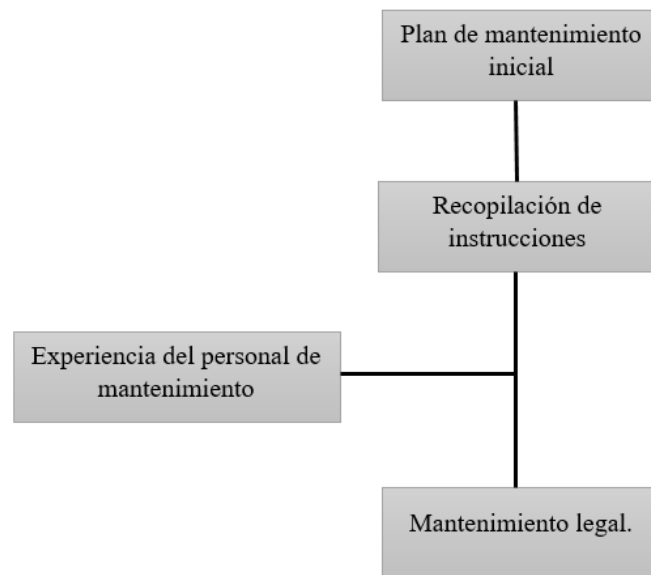


Figura 4: Plan de mantenimiento inicial [9]

1.3.5.2. Plan de mantenimiento basado en protocolos

A este plan de mantenimiento también se le denomina protocolo de soporte programado, el cual se aplica en cada equipo o máquina con la finalidad de tener un listado de las tareas de mantenimiento que se realizan en cada uno de ellos. Se debe elaborar los protocolos de soporte de los equipos disponibles en las instalaciones de la organización con las respectivas actividades del mantenimiento [25].

1.3.5.3. Plan de mantenimiento basado en confiabilidad (MCC)

MCC conocido como el plan de mantenimiento basado en confiabilidad, ya que asegura los elementos físicos para el aumento del rendimiento y la disponibilidad de cada uno de los equipos que se encuentran en el área de producción [26]. El MCC proporciona la mejora a la empresa, al disponer un plan en base a los estándares industriales a nivel mundial. Por ello, este mantenimiento ayuda a corregir con tiempo las fallas que puedan presentarse y ralentizar o paralizar el proceso de producción [27].

1.3.6. Inventario de equipos

Un inventario es la lista ordenada de los bienes que existen en una entidad en un tiempo determinado. Debe indicar el número exacto de los equipos, la descripción de cada

artículo tiene que presentar el detalle minucioso de estos, como el nombre del equipo, los precios unitarios, las fechas y su clasificación según sea el caso [28].

Siguiendo la normativa ISO menciona que es beneficiosos recolectar la información y los datos de los activos, ya que permite optimizar los tiempos para reparar, inspeccionar y optimizar los equipos, analizar el procedimiento de mantenimiento y la toma de buenas decisiones, con la finalidad de reducir fallos y garantizar un mejor rendimiento disponible [29]. Para el inventario de los equipos se puede realizar las siguientes tres etapas:

Primera Etapa: Inventariar los activos

Se verifica que máquinas están disponibles en los ambientes de formación, posteriormente se comprueba los códigos de inventario en cada una de las máquinas y su estado, funcionalidad. Además, debe contener los equipos que se encuentren con algún error en el sistema y verificar si se puede realizar algunos ajustes para su funcionamiento (figura 5) [29].

		1 GESTIÓN DE MANTENIMIENTO CENTRO DE LA INDUSTRIA, LA EMPRESA Y LOS SERVICIOS - CIES					
		TALLER:	2			FORMATO:	3
AREA:	5	CUENTADANTE:	6			FECHA:	4
					CEDULA:	7	
INVENTARIO DE EQUIPOS							
N	NOMBRE DEL EQUIPO	PLACA INVENTARIO	CANTIDAD	MARCA	MODELO	SERIE	DESCRIPCIÓN
8	9	10	11	12	13	14	15
ELABORADO POR:		16			APROBADO POR:		18
ELABORADO POR:		17			CARGO:		19

Figura 5: Formato de inventario de equipos [29]

Segunda etapa: Recolección de datos

La recolección de datos se realiza bajo la normativa ISO 12224-2016, la cual informa que la principal fuente de información tiene que ser la gestión de mantenimiento. Si no existe la principal fuente de información sobre la maquinaria, los datos se

recolectarán de manera externa en el área de almacén e inventario, o buscar los datos que proporciona el fabricante o proveedor [29].

Tercera etapa: Clasificación de los activos

Esta etapa consiste en clasificar los activos, con la finalidad de obtener una mejor organización, en esta clasificación se puede aplicar la pirámide de niveles taxonómicos (Figura 6) dicha por la norma, la cual se trata de la clasificación sistemática de los equipos en grupos genéricos basados en características comunes como su uso (figura 6) [29].

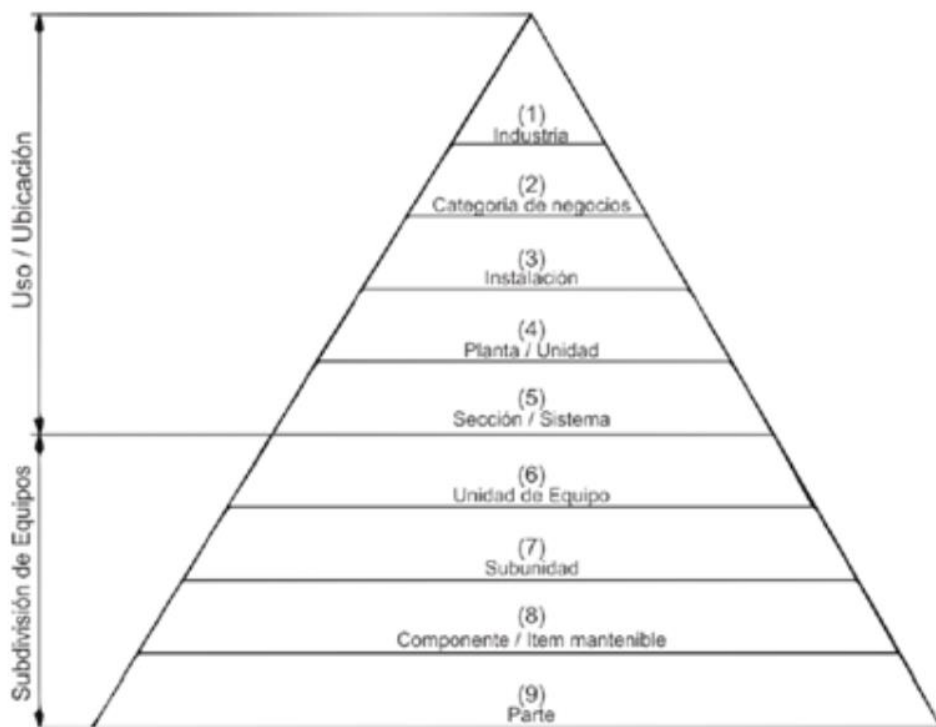


Figura 6: Clasificación taxonómica con niveles taxonómicos [22]

1.3.7. Dossier

También se lo denomina como expediente de mantenimiento, se trata de un registro que lleva la información completa de los equipos, con el fin de dirigir el proceso de producción asegurando la calidad, la técnica de Dossier utiliza herramientas metodológicas, técnicas y tecnológicas, para utilizar de mejor eficiencia el registro de cada máquina, al igual que la necesidad del personal altamente calificado, que brinda el servicio a la industria se debe encontrar registrado en la documentación [25].

1.3.8. Fichero histórico de la máquina

Es un documento que contiene la descripción cronológica de las mediciones de la máquina al igual que las intervenciones que sufre esta y condiciona su proceso en el transcurso de su vida útil. El archivo debe contener las intervenciones de corrección y prevención basándose las normativas vigentes incluyendo los instructivos y el proceso de calibración (Manual de Calidad) [30].

1.3.9. Matriz AMFE

La matriz AMFE es una técnica utilizada como herramienta de los modos de fallo en el proceso de un producto o servicio, con la finalidad de priorizar e implementar estrategias para el análisis, la evaluación, identificación y prevención de todo tipo de fallos. Por ello la matriz permite determinar y evaluar todas las actividades relacionadas con los procesos, identificando los posibles problemas o averías en los equipos, para lo cual se cuantifica para buscar y accionar las medidas correctivas según sea el grado del riesgo, con la finalidad de evitar pérdidas y maximizar la satisfacción de los clientes [30]. Existe cinco tipos de sistema AMFE, sistema diseño, proceso, servicio y sistema de software. Esta metodología es recomendada aplicar a inicios del proceso e ir evaluando a medida que avance el proceso, para controlar los fallos, el documento debe ser revisado cada año [31].

Ventajas del uso AMFE:

- Minimiza los costos de producción.
- Reduce el tiempo implementado en corregir fallos.
- Mejora el conocimiento de la organización.
- Previene los posibles problemas
- Mejora la confiabilidad y calidad de los productos.

Por cada Falla AMFE usa:

- La severidad de la falla de acuerdo con el impacto.
- La medición del sitio para detectar fallas antes del impacto.
- Tener en cuenta la probabilidad de exista el modo de falla.
- Tener un documento entendible y de fácil revisión

En la mejora de AMFE se resuelve insertar el Índice de Prioridad de Riesgos (IPR), siendo un valor adimensional para ser ubicado por su orden de prioridad, el cual se determina mediante la siguiente expresión [32]:

$$IPR = Gravedad (G) * Frecuencia(F) * Detección(D) \quad (1)$$

En donde:

F: Frecuencia, valoración del modo de fallo

G: Gravedad, evaluación de las consecuencias

D: Detección, evaluación de la probabilidad del posible fallo

Otra expresión que se pueden utilizar para el uso de AMFE se determina mediante la severidad, la ocurrencia y la detección, que al realizar el producto de los tres criterios debe dar como resultado el IPR (figura 7) [33].

Dispositivo registro _____				AMFE Número _____			
Invima _____				Preparado por _____			
Tipo de institución _____				AMFE Fecha _____			
Lider _____				Revisión _____			

Subproceso	Falla potencial	Efecto potencial de falla	Causas potenciales	sev	Ocurrencia	Det	RPN	Acciones recomendadas	Responsable	Resultados					
										Acciones tomadas	Nuevo sev	Nuevo ocurr	Nuevo Dete	Nuevo RPN	

Severidad. Calificar de 1 a 5 el grado de severidad. Ver hoja de calificación

Ocurrencia. Calificar de 1 a 5 la probabilidad de ocurrencia. Ver hoja de calificación

Detectabilidad. Calificar de 1 a 5 probabilidad de detección. Ver hoja

Risk Priority Number. (RPN)-
RPN = Sev X Occ X Det

Plan de acción y evaluación

Figura 7: Matriz AMFE [26]

S (Severidad) Cuan severo es el efecto de este tipo de defecto en el respectivo cliente		O (Probabilidad de Ocurrencia) Cuan probable es que el tipo de defecto examinado ocurra en el cliente		D (Probabilidad de no ser detectado) Cuan probable es que el defecto llegue al cliente	
CRITERIO	PUNTUACIÓN	CRITERIO	PUNTUACIÓN	CRITERIO	PUNTUACIÓN
Efecto de falla muy grave - La falla puede provocar situaciones de peligro (lesiones) - No conformidades con las normas legales - Descompostura total del producto con posterior daño	10	Ratio de falla muy alto Fallos ocurren a gran escala (>100,000 ppm o > 10%)	10	Falla será pasada a cliente sin ser detectada Descubrimiento de la falla es improbable. La fiabilidad de la detección no puede ser probada, procedimientos de prueba inciertos	10
Efecto de falla alto - Operatividad restringida del producto o partes - Gran molestia de cliente - Retrabajos o empleo de servicios	8	Ratio de falla alto Fallos ocurren muy frecuentemente (<100,000 ppm o <10%)	8	Detección mínima Descubrimiento de la falla es menos probable. La fiabilidad de la detección probablemente no puede ser probada	8
Efecto de falla moderado - Leve deterioro del producto (perceptible por el cliente) - Descontento del cliente - Servicio al cliente	5	Ratio de falla bajo Fallos ocurren ocasionalmente (<10,000 ppm o <1%)	5	Detección baja Falla es descubierta principalmente. Fiabilidad de la detección puede ser probada, procedimientos de prueba son relativamente ciertos	5
Efecto de falla bajo - Ligero deterioro óptico - Ligera molestia del cliente - Costos leves	3	Ratio de falla bajo Fallos ocurren raramente (<1,000 ppm o <0.1%)	3	Detección alta Falla es descubierta con alta probabilidad. Confirmado por varios métodos independientes	3
Efecto de falla no perceptible - Deterioro de la función solo reconocible por el técnico - Costos mínimos - Deterioro ópticamente no percibido	1	No hay acontecimientos conocidos sobre productos similares Aproximadamente no ocurre fallas	1	Detección muy alta Definitivamente la falla es descubierta	1

Figura 8: Cuadro de valoraciones AMFE [26]

1.3.10. Criterios AMFE

Para la matriz AMFE el IPR se obtiene de acuerdo con la valoración de las variables que tengan concordancia con los criterios de frecuencia, gravedad y detección de riesgos que se encuentre en la siguiente investigación (figura 8) [33].

Tabla 3: Criterios de Severidad AMFE [33]

No.	SEVERIDAD
01	Ninguna: No hay efecto discernible.
02	Muy menor: Ajuste y terminado/Chirrido y traqueteo. Ítem no cumple. Defecto observado por los clientes perceptivos (menos del 25 %).
03	Menor: Ajuste y terminado/Chirrido y traqueteo. Ítem no cumple. Defecto observado por el 50 % de los clientes.
04	Muy baja: El ajuste y terminado/Chirrido y traqueteo. Ítem no cumple. Defecto observado por la mayoría de los clientes (más del 75 %).
05	Baja: Vehículo/ítem operable pero ítem(es) de confort/convivencia operable(s) a un nivel de desempeño reducido. Cliente un poco insatisfecho.
06	Moderada: Vehículo/ítem operable pero ítem(es) de confort/convivencia operable(s) a un nivel de desempeño reducido. Cliente insatisfecho.
07	Alta: Vehículo/ítem operable, pero a un nivel de desempeño reducido. Cliente muy insatisfecho.
08	Muy alta: Vehículo/ítem inoperable (pérdida de la función primaria).
09	Peligrosa con advertencia: Clasificación de severidad muy alta cuando un modo de falla potencial afecta la operación segura del vehículo y/o implica no conformidad con las reglamentaciones gubernamentales con advertencia.
10	Peligrosa sin advertencia: Clasificación de severidad muy alta cuando un modo de falla potencial afecta la operación segura del vehículo y/o implica no conformidad con las reglamentaciones gubernamentales con advertencia.

Tabla 4: Criterios de Ocurrencia AMFE [33]

No.	Ocurrencia
01	Remota: La falla es improbable: ≤ 0.010 por mil vehículos/ítems.
02	Baja: Relativamente pocas fallas: 0.1 por mil vehículos/ítems.
03	Baja: Relativamente pocas fallas: 0.5 por mil vehículos/ítems.
04	Moderada: Fallas ocasionales: 1 por mil vehículos/ítems.
05	Moderada: Fallas ocasionales: 2 por mil vehículos/ítems.
06	Moderada: Fallas ocasionales: 5 por mil vehículos/ítems.
07	Alta: Fallas repetidas: 10 por mil vehículos/ítems.
08	Alta: Fallas repetidas: 20 por mil vehículos/ítems.
09	Muy alta: La falla es casi inevitable: 50 por mil vehículos/ítems.
10	Muy alta: La falla es casi inevitable: 100 por mil vehículos/ítems.

Tabla 5: Criterios de Detección AMFE [33]

No.	Detección
01	Casi segura: El control del diseño casi sin falta detectará una causa/mecanismo potencial del modo de falla subsiguiente.
02	Muy alta: Una oportunidad muy alta de que el control del diseño detecte una causa/mecanismo potencial del modo de falla subsiguiente.
03	Alta: Una oportunidad alta de que el control del diseño detecte una causa/mecanismo potencial del modo de falla subsiguiente.
04	Moderadamente alta: Una oportunidad moderadamente alta de que el control del diseño detecte una causa/mecanismo potencial del modo de falla subsiguiente.
05	Moderada: Una oportunidad moderada de que el control del diseño detecte una causa/mecanismo potencial el modo de falla subsiguiente.
06	Baja: Una oportunidad baja de que el control del diseño detecte una causa/mecanismo potencial del modo de falla subsiguiente.
07	Muy baja: Una oportunidad muy baja de que el control del diseño detecte una causa/mecanismo potencial del modo de falla subsiguiente.

1.3.11. Matriz de criticidad

La criticidad establece la jerarquía de los equipos a analizar, según su criticidad, es decir para su clasificación se toma en cuenta los atributos basados en el origen del fallo y las consecuencias que tiene una característica de índole cuantitativa y cualitativa, para ello se aplica la experiencia del personal operativo y de mantenimiento para tener una relación cercana a la realidad [34] [35].

Para evaluar los riesgos industriales, hay que combinar la probabilidad y la frecuencia de que se produzca un fallo y sus consecuencias, ya sea en la reparación del equipo como la mano de obra. Por ello se aplica la toma de decisiones mediante la determinación de la criticidad la cual requiere una estructura jerárquica y la aplicación de sus modelos matemáticos que ayuda a obtener ponderaciones y así priorizar y evaluar los activos [36].

Los pasos para diseñar el modelo de criticidad basado en riesgo son los siguientes:

- Definir el alcance y el propósito para el análisis de criticidad, en función de las metas de mantenimiento con lineación las metas de la gerencia y la empresa.
- Establecer el nivel de detalle para el análisis (taxonomía - referencia Norma ISO 14224)
- Definir los criterios de importancia para el modelo de riesgo a ser evaluados, como son el rango de frecuencia en las fallas (FF) y los factores de consecuencia (C).
- Desarrollar o seleccionar los métodos para la evaluación de riesgo que ayude a jerarquizar en la industria o departamento. El modelo de criticidad se denomina Matriz de Criticidad de Riesgo (MCCR), basado en la estimación de los factores de riesgo [36].

La matriz de criticidad (MCCR) se caracteriza por ser un proceso semicuantitativo que se entiende como la frecuencia del fallo multiplicado la consecuencia [37].

$$CRT = FFF * C \quad (2)$$

En donde:

CRT: Criticidad.

FFF: Frecuencia de fallo (fallos por año).

C: Consecuencias.

Los valores de consecuencia se obtienen mediante la siguiente expresión:

$$C = (IO * FO) + CM + SHA \quad (3)$$

En donde:

IO: Impacto en la producción.

FO: Flexibilidad operacional.

CM: Factores de costo de mantenimiento.

SHA: Factores de impacto en la seguridad, higiene y ambiente. [37]

Para el análisis de criticidad hay que seleccionar los factores y las correspondientes escalas de evaluación alineados con los objetos de la empresa y sean aprobados por la dirección, que estén relacionados con las frecuencias de fallo y las consecuencias [36]. Los factores ponderados se deben realizar en reuniones con las personas involucradas en la parte operacional o mantenimiento. El nivel de criticidad del equipo se obtiene tomando valores de los factores principales para ser colocados en la matriz de criticidad (figura 9), el valor del FFF es ubicado de manera vertical y CRT se ubica de manera horizontal.

Modelo de matriz de criticidad

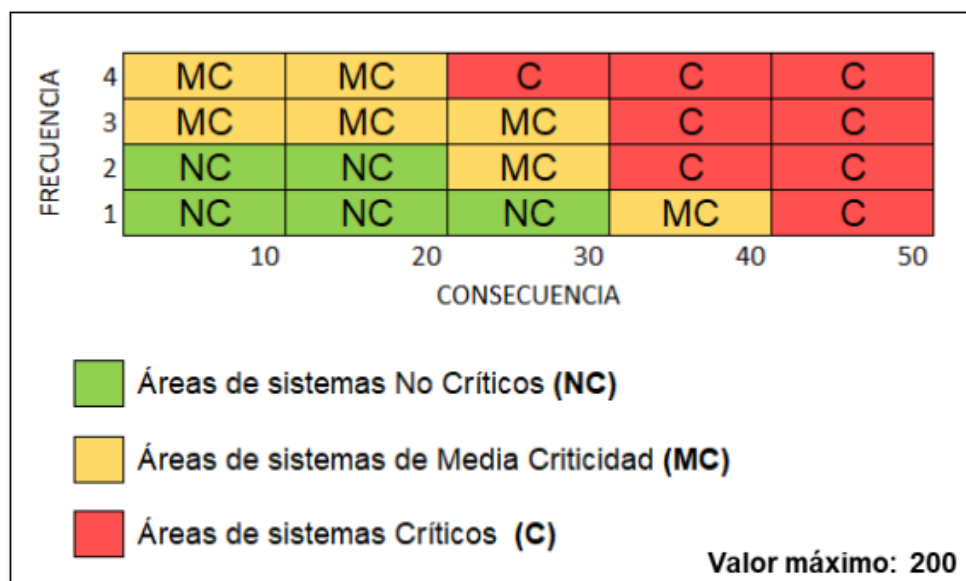


Figura 9: Matriz de criticidad. [36]

1.3.12. Distribución de Weibull

La distribución de Weibull facilita la posibilidad de poder analizar y pronosticar la distribución de fallos de algún componente clave, se puede definir como una distribución de carácter exponencial que toma como punto de referencia la probabilidad estadística de los problemas que se acontecen en los componentes o materiales de determinada maquinaria con la finalidad de predecir cualquier tipo de fallo [38] [39].

La distribución de Weibull no permite determinar con exactitud cuáles son las causantes que propician la tasa de fallos, pero dan la facilidad de identificar cuáles son las posibilidades y que consideración se les puede tener, contando como gran ventaja que aporta una herramienta de predicción de comportamiento, razón por la cual la distribución de Weibull es muy utilizada en industrias en las que se aplican programas de mantenimiento preventivo. [40]

1.3.12.1. Modelo matemático de Weibull

Según lo estipulado en [40] los modelos matemáticos propuestos por Waloddi Weibull se toman en cuenta las funciones de Confiabilidad y de Tasa de Falla, que se proponen a continuación:

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t_o - \gamma}{\alpha} \right)^\beta \right] \quad (4)$$

$$F(t) = 1 - R(t) \quad (5)$$

En donde:

$R(t)$: Fiabilidad

$F(t)$: Función acumulativa de fallos o in fiabilidad

t_o : Tiempo de operación

γ : Parámetro de localización, indica el tiempo a partir del que se genera la distribución. Las máquinas del Área de Fibra no disponen de un plan de mantenimiento por lo que la distribución de considera el valor de 0. ($\gamma = 0$).

α : Vida característica o parâmetro de escala

β : Parámetro de forma: representa la pendiente de la recta que describe el grado de variación en la tasa de fallos.

$\ln(t_o)$: Logaritmo natural del Tiempo de operación. [41]

Con la finalidad de poder hallar los valores de α : vida característica o parâmetro de escala y β : parâmetro de forma, es necesario encontrar los valores de media aritmética (\bar{X}), varianza (S^2), el tiempo de duración de cada una de las fallas en un evento (t_i), la desviación estándar (S) y el número de eventos o datos (n), estos valores se los obtiene gracias a los datos estadísticos de cada máquina y con la ayuda de las siguientes fórmulas: [39]

$$(\bar{X}) = \frac{\sum_{i=1}^n \ln(t_o)}{n} \quad (6)$$

$$S^2 = \frac{(\sum \ln(t_o) - \bar{X})^2}{(n - 1)} \quad (7)$$

$$s = \sqrt{S^2} \quad (8)$$

$$\beta = \frac{\pi}{s\sqrt{6}} \quad (9)$$

$$\alpha = \exp \left[\bar{X} + \frac{0.5772}{\beta} \right] \quad (10)$$

1.3.12.2. Modelo gráfico de Weibull

Con la ayuda del papel Weibull y de los datos estadísticos de cada máquina a analizar, se puede decidir los parámetros óptimos para calcular la distribución de Weibull, para lo que se utilizará tablas y gráficos presentes en la NTP 331 (Anexo 1). [41]

Los pasos para la determinación de la fiabilidad utilizando el modelo gráfico de Weibull se detallan a continuación:

Paso 1:

Obtener un registro de fallas, con sus correspondientes tiempos agrupados de forma ascendente, en base a sus tiempos de falla y se evalúa el porcentaje de fallos acumulativos $F(i)$ [39] [41]

Paso 2:

Calcular el valor del porcentaje de fallos acumulativos, es decir, la probabilidad de que suceda determinada falla y se la realiza con la siguiente ecuación:

$$F(i) = \frac{\# \text{ de fallas}}{\# \text{ total de fallas}} \quad (11)$$

A consecuencia de que la distribución de Weibull se caracteriza por tener una confiabilidad alta, no es recomendable aplicar la ecuación anterior, por lo que se para tener un valor de proximidad superior de $F(i)$, la ecuación está en función a la cantidad del número de fallas que se presente.

Para los casos en los que se tiene un total de fallas superior a las 20 unidades, la fórmula se modifica a la siguiente: [39] [41]

$$F(i) = \frac{i - 0.3}{n + 0.4} \quad (12)$$

En donde:

n : Es el tamaño de las muestras o total de fallas.

i : Número de orden de observación o número de fallas. [39] [41]

Para los casos en los que se tiene un total de fallas mayores a 100 unidades, se utiliza la siguiente ecuación: [39] [41]

$$F(i) = \frac{i}{n + 1} \quad (13)$$

Con los parámetros ya determinados, se procede a elaborar una tabla de valores (tabla 6) con los tiempos de falla y los porcentajes de falla acumulativos $F(i)$.

Tabla 6: Tabla de valores de porcentaje de falla [40] [41]

Tiempo de falla	Porcentaje de fallos acumulativos $F(i)$
T1	F (1)
T2	F (2)
T3	F (3)
Tn	F(i)

Un factor para tomar en cuenta es que las cantidades calculadas mediante las ecuaciones representan valores con una confianza del 50%, razón por la cual se puede incrementar este valor y la confianza mediante gráficos con la ayuda del papel de Weibull y los datos ya tabulados. [38] [39] [41]

Paso 3:

En el papel de Weibull, se toma como referencia en el eje x el tiempo de falla y en el eje y la distribución de fallos acumulativos, dando como resultado una gráfica de puntos consecutivos, con los cuales se traza una línea de tendencia, lo cual se realiza en la siguiente figura: [39] [41]

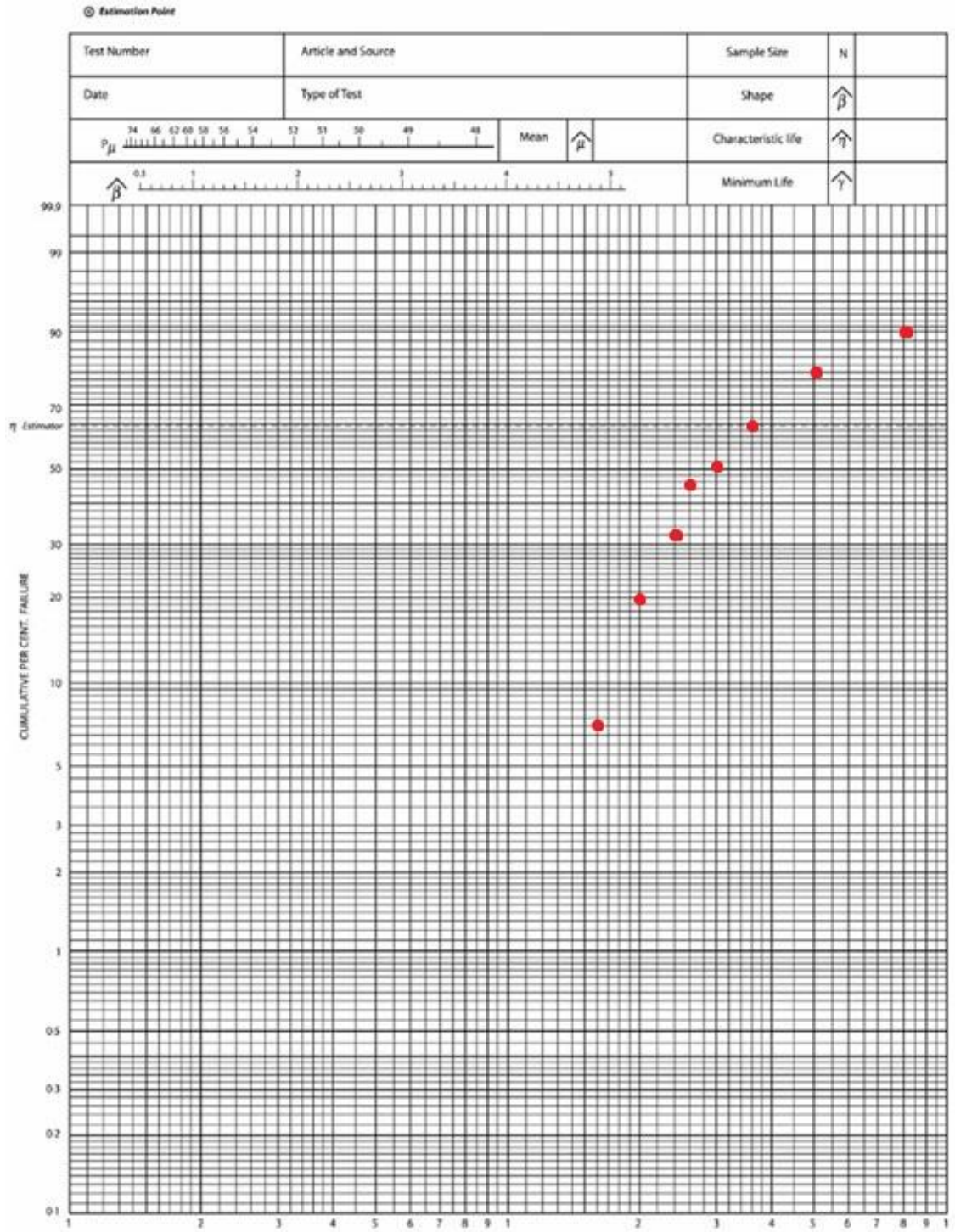


Figura 10: Ejemplo del método gráfico en el papel de Weibull. [39]

Paso 4:

Los valores de los parámetros de forma β y P_u se pueden obtener trazando una recta perpendicular a la línea de tendencia resultante, esta línea se traza desde el ‘Estimation point’ o punto de referencia situado en la parte superior izquierda de la hoja de Weibull, como se presenta en la siguiente figura: [39] [41]

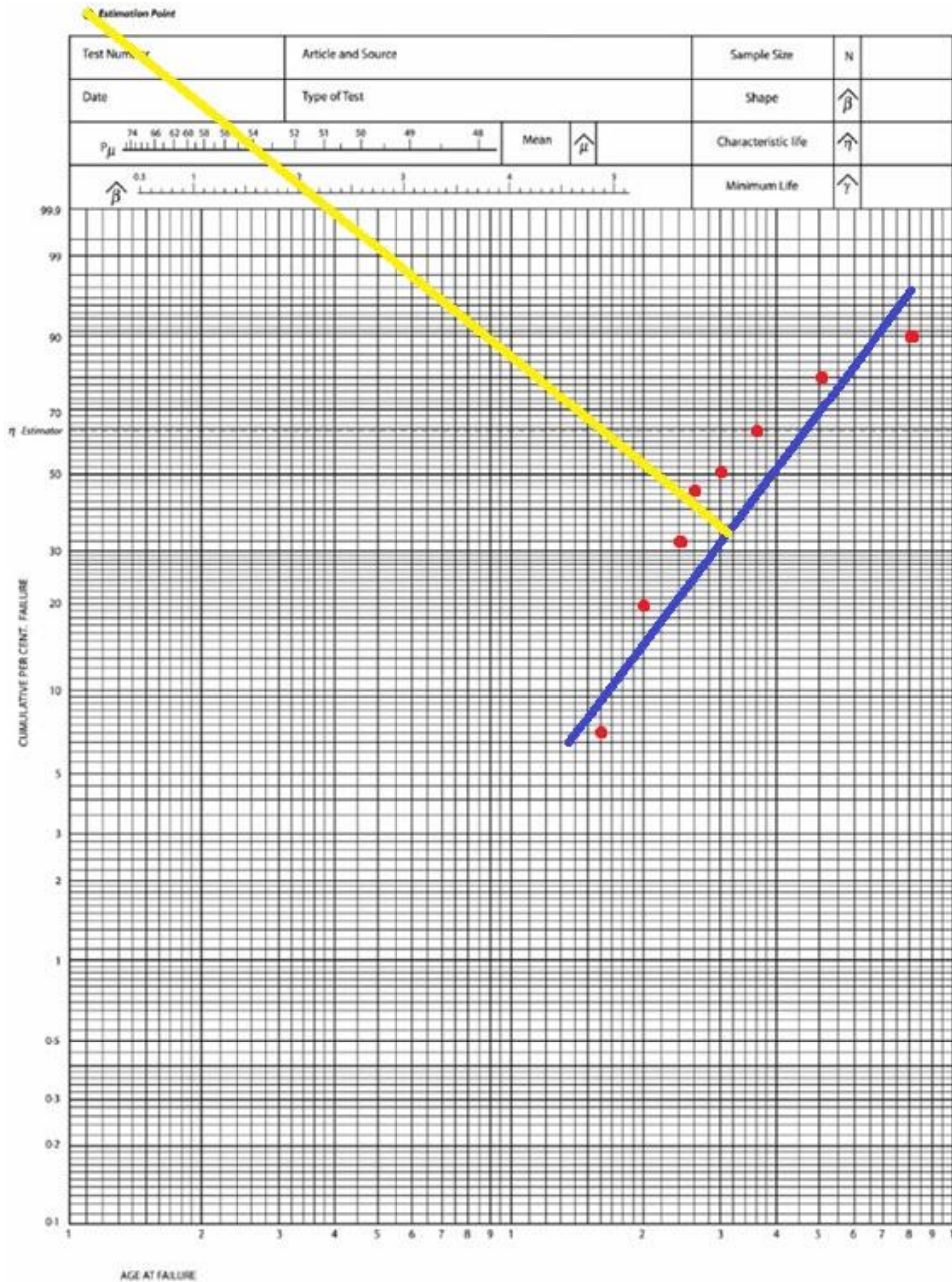


Figura 11: Obtención de los parámetros de β y P_u . [39]

Paso 5:

Ubicar el valor de P_u obtenido en el eje de las y, distribución de fallos acumulativos, trazar una línea hasta chocar con la línea de tendencia previamente encontrada y proyectarla hasta el eje de las x, que representa el tiempo de fallo, de esta forma se determina la media MTBF que debe ser multiplicado por 100 y será el valor con el que se trabajará. [39] [41]

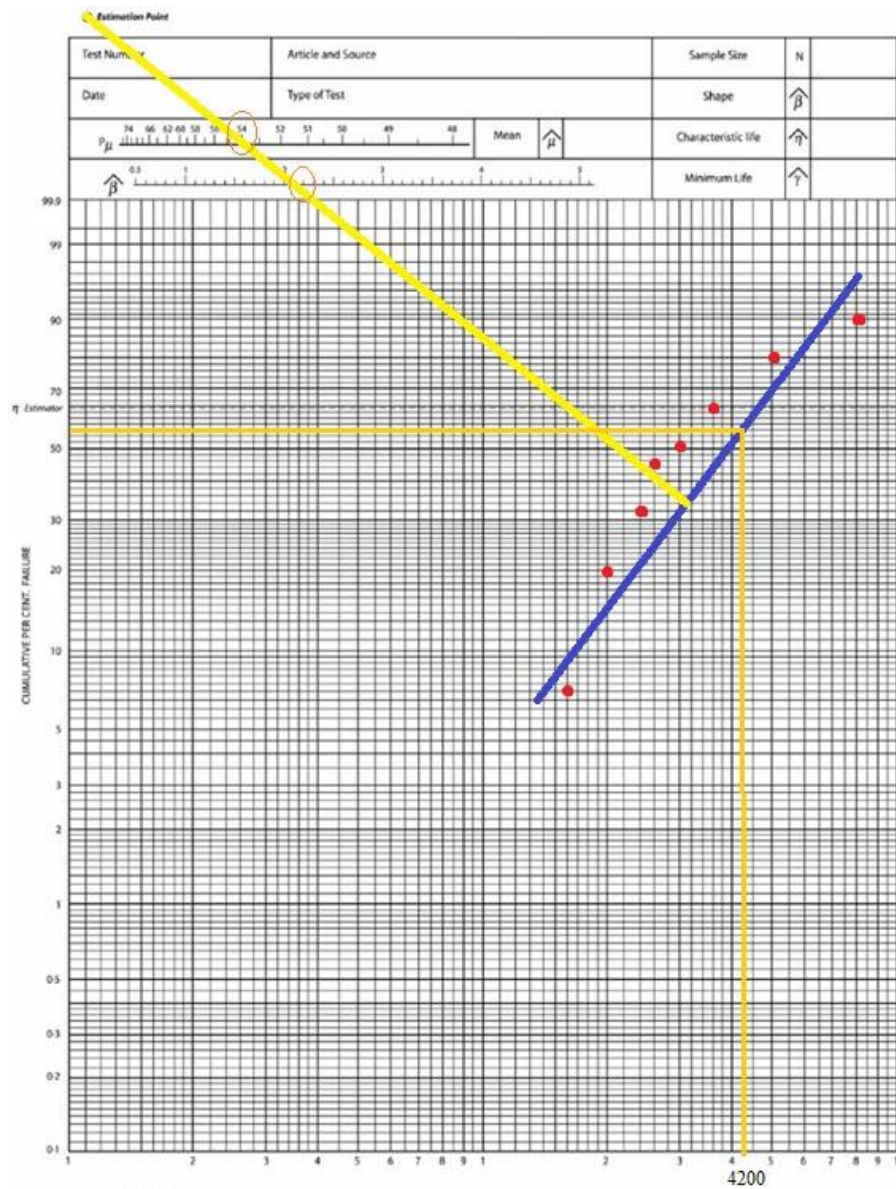


Figura 12: Determinación del valor de la media MTBF. [39]

Paso 6:

Finalmente, tomando como referencia el punto 'n referencia' situado al costado izquierdo del papel de Weibull una línea hasta que intercepte con la línea de tendencia encontrada y lo proyectamos hasta el eje x y el valor encontrado será con el posteriormente se trabajará. [39] [41]

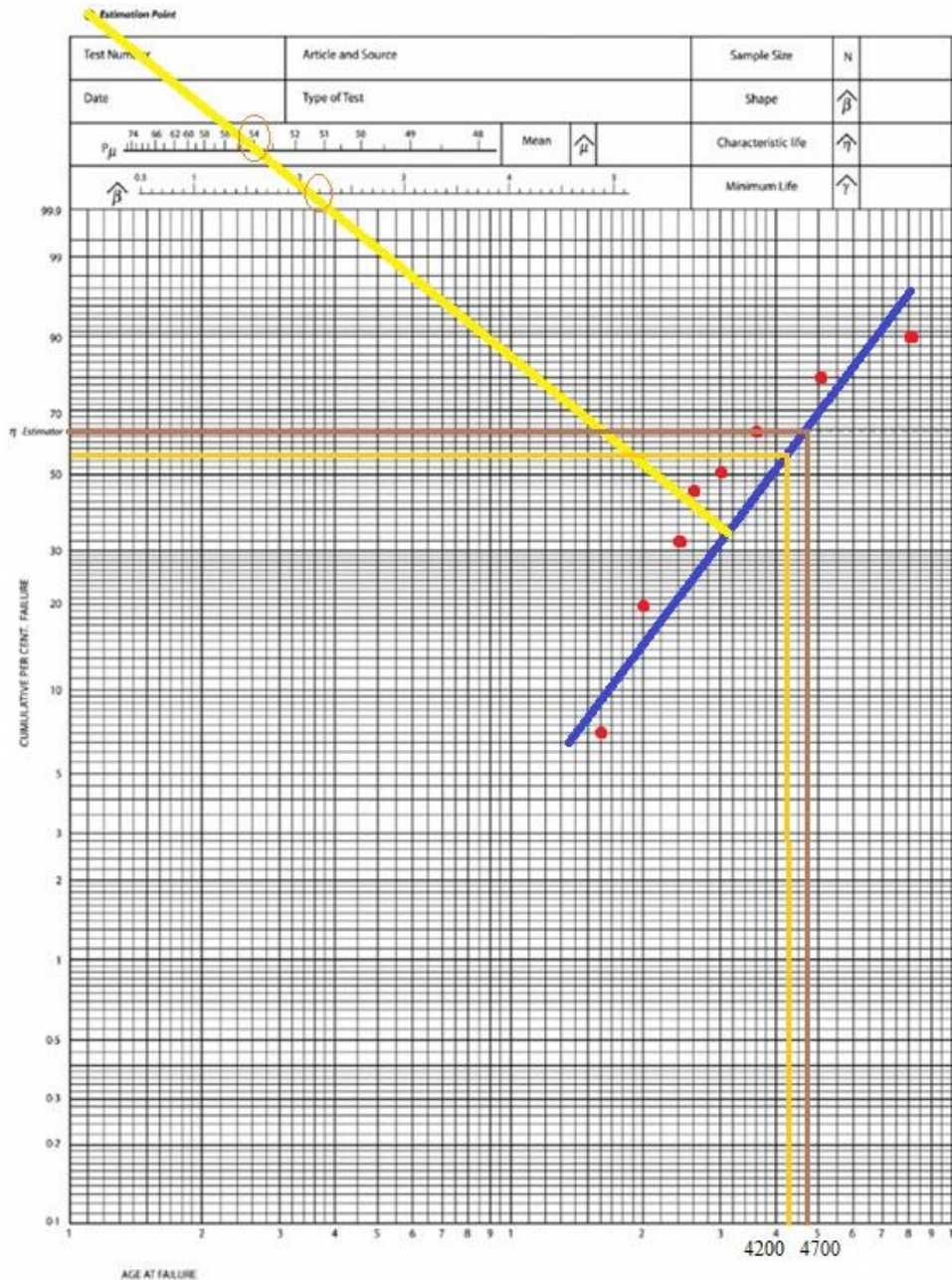


Figura 13: Determinación del valor de 'n estimado'. [39]

Con los valores obtenidos mediante los métodos gráficos de la distribución de Weibull, se procede a reemplazarlos para encontrar la fiabilidad con la ecuación 1, que ya fue detallada con anterioridad. [39] [41]

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t - \gamma}{\alpha} \right)^\beta \right]$$

Con este valor de fiabilidad encontrado se puede ubicar en la curva denominada como ‘curva de la bañera’, la misma que permite identificar los diferentes fallos que pueden estar presentes en un componente o un equipo y que puede sufrir a lo largo del tiempo desde el inicio de su operación hasta que llega el fin de su ciclo de vida útil, como se evidencia en la siguiente figura 14. [39] [41]

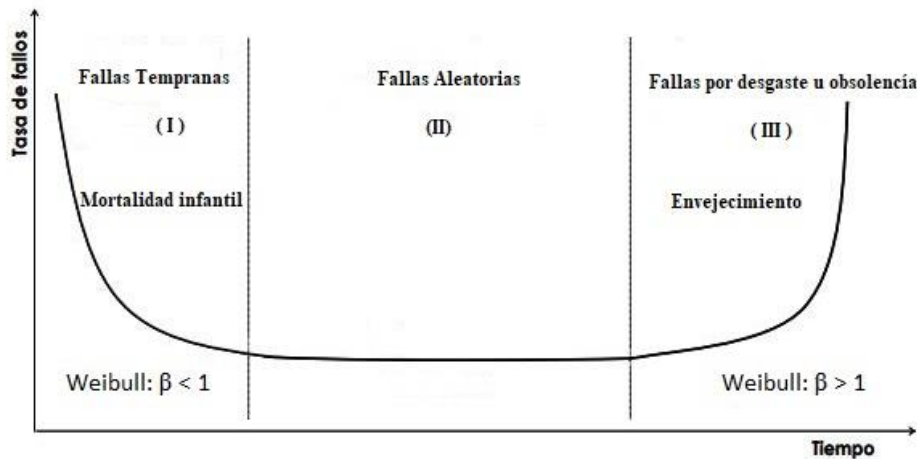


Figura 14: Curva de la bañera. [42]

Como se puede evidenciar cuando se tiene valores de $\beta < 1$ pertenece a la zona de Fallas tempranas, en donde el componente o equipo tiene una mortalidad infantil y en estos casos se debe aplicar un mantenimiento de tipo predictivo, por otra parte, los valores de $\beta > 1$ pertenecen a la zona de Fallas por desgaste u obsolescencia, en donde los componentes o equipos presentan envejecimiento y en donde se aplica un mantenimiento de tipo preventivo y si el valor de $\beta = 1$ tiene como característica significa una tasa de fallos constante. [38] [39] [41]

1.3.13. Normativas legales

1.3.13.1 NTP 331 Fiabilidad: la distribución de Weibull

La Nota técnica de Prevención 331 tiene como objetivo presentar una distribución estadística con la que se pueda analizar la fiabilidad con respecto a problemas de fallas acumulativas en componentes o equipos industriales, se utiliza la distribución de Weibull, la cual relaciona el número de fallos acumulativos encontrados con relación con el tiempo de duración de fallas para poder encontrar valores de fiabilidad y mediante la aplicación de métodos analíticos y gráficos encontrar en que rango de fallos se encuentra y que tipo de mantenimiento poder aplicar, como se explicó anteriormente se utiliza la curva de la bañera. [39] [40] [41]

1.3.13.2 NTP 679 Análisis modal de fallos y efectos. AMFE

La Nota Técnica de Prevención 679, tiene como finalidad presentar el método de análisis modal de fallos y efectos de elementos o equipos industriales, es una herramienta indispensable en la determinación de potenciales fallos o funcionamientos deficientes, en donde existen 3 parámetros claves la detectabilidad, la frecuencia y la gravedad de los fallos que puedan suscitarse y mediante los cuales se obtiene el Índice de Prioridad de Riesgo, con la finalidad de identificar los puntos críticos de un determinado proceso o producto. [43]

1.3.14. Compresor de aire de tornillo

Existen dos principios de funcionamiento para la compresión de aire. Uno de ellos es la regla de la compresión mediante desplazamiento positivo, que se lo realiza con la ayuda de un pistón y la compresión dinámica, que se lo realiza mediante compresores de tipo rotativo con uñas, paletas o tornillos. [44]

El principio de funcionamiento de los compresores dinámicos consiste en el incremento progresivo de la presión mientras fluye el aire, esto se da mediante álabes giratorios que incitan la aceleración del aire que fluyen a altas velocidades (figura 15). Por la geometría de los álabes la velocidad del aire se convierte en presión estática cuando con la ayuda de un difusor se fuerza su desaceleración, existen dos tipos de

compresores rotatorios que están en función de la dirección del flujo del aire, radiales y axiales [44].



Figura 15: Principio de funcionamiento de un compresor de tornillo doble. [44]

En los compresores rotativos los más comunes son los de doble tornillo, las principales características de este tipo de compresores son que tienen un flujo estable a diferentes condiciones de presión y caudal alto. Tienen como sus principales componentes los rotores macho y hembra con sentidos de giro opuestos, tienen relaciones de presión permanente en dependencia a su geometría, el paso del tornillo, puerto de descarga y longitud. [44]



Figura 16: Compresor de tornillo de la empresa VARMA S.A.

1.3.15. Aspersor de fibra de vidrio

El sistema utilizado en la empresa utiliza una tecnología MVP Patriot (figura 17) para la aspersión de fibra de vidrio para procesos de alta precisión, que se ha reemplazado el procedimiento tradicional de preparación y armado de piezas y moldes de fibra de vidrio, evitando la preliberación, las superficies porosas, el proceso de curado posterior, el engomado, la ausencia de grosor uniforme y el agrietamiento en la formación de diferentes materiales compuestos. [45]

La tecnología aplicada cuenta con un sistema de fluidos con un endurecimiento mediante inducción con calor profunda que es cubierta con capas de cromo, mejorando la resistencia al desgaste de la máquina, dando una capacidad de trabajo mayor durante periodos de tiempo más largos, cuenta con una bomba en el catalizador que le da la capacidad de autocuración, brindando mejores propiedades de fricción dando una variación de 1% en resina. Todo el sistema cuenta con módulos para su configuración, brindando la capacidad de mantenimiento excelente, puesto que le permite cambiar componentes principales en tiempos de hasta 10 minutos. [45]



Figura 17: Aspersor de fibra de vidrio de la empresa VARMA S.A.

1.3.16. Mezcladora de resina

La principal característica de la mezcladora disponible es que cuenta con aspas o varillas mezcladoras multiuso MK y WK, que tienen como principal cualidad la excelente impulsión del material a mezclar, que cuenta con una óptima propulsión de la máquina por la geometría de sus dos hélices anchas de mezcla, cuenta con 3 paletas con rotaciones seleccionables que le permiten trabajar con una alta eficiencia con altas fuerzas transversales, son generalmente elaboradas en aceros de alta calidad lo que le dan una vida útil larga y le dan la capacidad de trabajar con materiales abrasivos, las aspas giran en direcciones contrarias con la finalidad de eliminar el par antagónico y se pueden trabajar manualmente o montarlas en base RTS como se evidencia en la figura 18 [46].



Figura 18: Mezcladora con varillas MK160 de la empresa VARMA S.A.

1.3.17. Cuarto de secado

En la actualidad el cuarto de secado se ha convertido en una herramienta en talleres y empresas industriales en las que se emplee el proceso de forrado externo, pintura y acabados en general para garantizar un sellado y repintado de excelente calidad, es un espacio aislado de partículas volátiles del exterior, en donde se aísla al accesorio o a la parte a pintarse en conjunto con el trabajador proporcionando condiciones perfectas para garantizar la adherencia de las capas de pintura a las superficies de moldes de respaldos, forrados y elementos en general, minimizando la aparición de imperfecciones en el acabado final. El cuarto de secado (figura 19) cuenta generalmente con ventiladores para brindar protección contra vapores y residuos volátiles del material, esta herramienta fomenta el secado de partes pintadas, ya que se lo realiza mediante procesos de conducción y convección que se ven favorecidos al encontrarse en aislamiento de las condiciones ambientales, también cuenta con filtros de impurezas y lámparas de iluminación. [47]



Figura 19: Cuarto de secado de la empresa VARMA S.A.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Materiales y recursos

2.1.1 Recursos Humanos

Tabla 7: Recursos Humanos.

Persona	Cargo
Steven Vargas	Estudiante
Ing. Mg. Christian Castro	Docente Tutor
Ing. José Alarcón	Tutor Empresarial

2.1.2 Recursos Institucionales

Recursos físicos tangibles presentes en la planta industrial de la empresa “Carrocería Varma S.A.”

2.1.3 Recursos Materiales

- Manual de equipos
- Nota Técnica de Prevención NTP 331
- Nota Técnica de Prevención NTP 679

2.2.Métodos

En el desarrollo del presente proyecto técnico se usará un enfoque cuantitativo para la identificación de los parámetros necesarios en la elaboración de un mantenimiento preventivo para la maquinaria del área de fibra de vidrio de la carrocería ‘VARMA S.A.’ de la ciudad de Ambato, posteriormente los datos e información obtenida será analizada e interpretada mediante la distribución de Weibull con la ayuda de la Nota Técnica de Prevención NTP 331.

La determinación del estado actual de la maquinaria, se la realizará mediante la observación y recolección de información generada por la empresa en estadísticas de años anteriores y datos brindados por los manuales de fabricantes, en base a los cuales se procederá a realizar la matriz de criterios ponderados de fallos AMFE para

determinar los potenciales fallos y puntos críticos de cada máquina, con la ayuda de la Nota Técnica de Prevención NTP 679 (Anexo 2).

Finalmente, para la elaboración del plan de mantenimiento se realiza una adecuada interpretación y análisis de los métodos descritos anteriormente que permitan elaborar un registro óptimo de información para que tenga una validez y confiabilidad con el propósito de garantizar los resultados obtenidos.

2.3.Modalidad de la investigación

2.3.1. Investigación aplicada

En la elaboración del presente proyecto se utilizará los conocimientos y la información adquirida a lo largo de la carrera universitaria con el fin de realizar un plan de mantenimiento preventivo para el área de fibra, para optimizar el funcionamiento de la maquinaria, reduciendo los paros intempestivos y alargar su vida útil de estas.

2.3.2. Bibliografía documental

La información teórica en base a la cual se desarrollará el presente proyecto será recolectada de libros, notas técnicas, artículos científicos, proyectos de investigación, tesis y normas obtenidas de medios digitales (internet), con el propósito de definir conceptos, interpretar información de trabajos previos que ayuden a determinar la metodología y tener el adecuado desarrollo del presente trabajo investigativo.

2.3.3. Investigación de campo

Esta sección del presente trabajo se llevará a cabo en las instalaciones de empresa carrocería 'VARMA S.A.' de la ciudad de Ambato, especialmente en el área de fibra de vidrio, debido a que se debe realizar una observación directa a la maquinaria utilizada con el fin de identificar parámetros de funcionamiento y obtener datos estadísticos que permitan el desarrollo del plan de mantenimiento preventivo planteado.

2.3.4. Desarrollo del proyecto

En base al análisis de la información recolectada anteriormente, para un óptimo desarrollo del presente proyecto investigativo el procedimiento planteado se encuentra detallado en el siguiente diagrama de flujo con la finalidad de asegurar la realización de todas las etapas consideradas (figura 20):

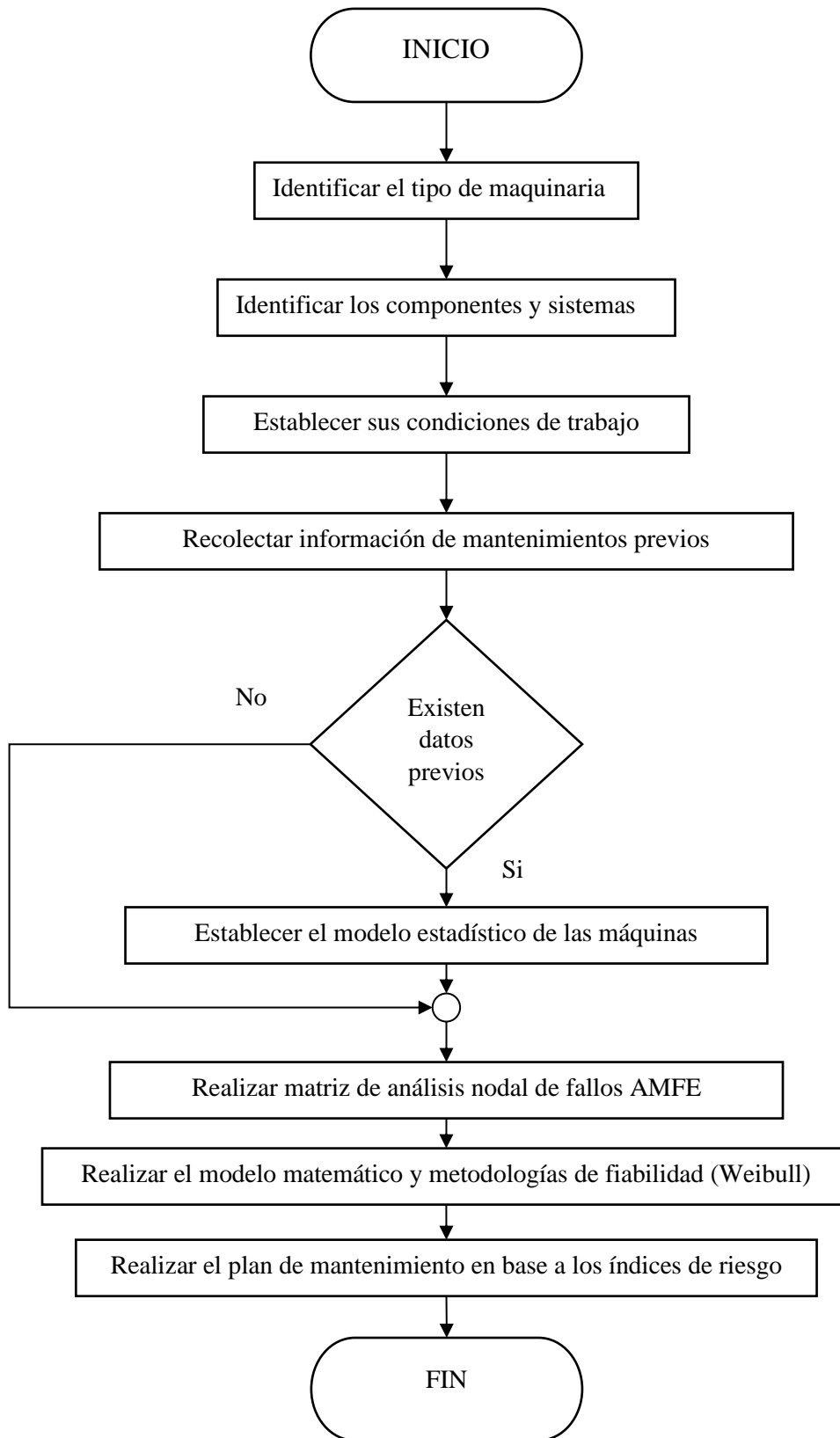


Figura 20: Diagrama de flujo del desarrollo del proyecto investigativo.

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1. Modelo Operativo

3.1.1. Identificación de la situación actual

En el desarrollo del presente plan de mantenimiento preventivo para el área de fibra de vidrio de la carrocería 'VARMA S.A.', se toma como punto de partida la recolección y análisis de la información brindada por la empresa referente a planes de mantenimientos previos, así como la identificación de componentes y la función que desempeña cada uno de ellos en las diferentes maquinarias presentes en el área, las consideraciones a tomar en cuenta en la elaboración del plan de mantenimiento son las características de trabajo de la máquina y las condiciones de servicio del entorno, además se evidencia que no existe un plan de mantenimiento actualizado para el área de fibra de vidrio de la empresa.

En la actualidad la maquinaria perteneciente al área planteada para el desarrollo del proyecto tiene un funcionamiento continuo diario, en el que no se ha presentado fallos definitivos o irreversibles, que obliguen a la sustitución de componentes o sistemas, con la finalidad de alargar la vida útil de la maquinaria y evitar paros imprevistos con fines correctivos es necesario el análisis y desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo para prevenir futuros fallos.

3.1.2. Inventario de equipos

El inventario permite detallar las principales máquinas y equipos de las diferentes áreas de la empresa 'VARMA S.A.', la empresa cuenta con códigos los cuales son generados con una abreviación de la siguiente manera:

- MQL =Máquina liviana; MPN=Máquina pesada neumática; MPE=Máquina pesada eléctrica; MPH=Máquina pesada hidráulica
- P1=Área de estructura; P2=Área de vestidura; P3=Área de fibra; P6= Área de pintura
- XXXX= Número de equipos.
- PPE=Propiedad planta y equipo; BC= Bien común.

Tabla 8: Inventario general por áreas de las principales máquinas de la empresa 'VARMA S.A.'

Universidad Técnica de Ambato					
Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica					
Carrera de Ingeniería Mecánica					
INVENTARIO DE MAQUINARIA Y EQUIPOS					
			ELABORADO POR: Steven Vargas	FECHA DE ELABORACION: 8/12/2021	CODIGO: VII
			REVISADO POR: Ing. Christian Castro	FECHA DE REVISION:	VERSION: 01
N°	CODIGO	NOMBRE DE LA MÁQUINA O EQUIPO	CANTIDAD	MODELO	MARCA
ÁREA DE ESTRUCTURA					
1	MQL-3040/TMIG-03-P1-0001-PPE	Soldadora MIG	10	EVO 250 T	CEBORA
2	MQL-253C/TMIG-03-P1-0002-PPE	Soldadora MIG	8	MIG 253C	CEBORA
3	MQL-TRN-03-P1-0003-PPE	Tronzadora	2	N/A	SIEMENS
4	MQL-DOT-03-P1-0004-PPE	Dobladora de perfiles	1	HPK-50	SANHILER
5	MPE-FRV-03-P1-0005-BC	Fresadora vertical	1	HARRISON	600

Tabla 8. Inventario general por áreas de las principales máquinas de la empresa 'VARMA S.A.' (continuación)

6	MQL-TAV-03-P1-0006-BC	Taladro vertical	1	N/A	FUGI
7	MQL-LIM-03-P1-0007-BC	Limadora	1	4550-E	SACIA
8	MQL-LIM-03-P1-0007-BC	Esmeril	1	TY-110B	BENCH GRINDER
ÁREA DE VESTIDURA					
9	MPH-GUI-03-P2-0001-BC	Guillotina	1	VC-14	CASANOVA
10	MPH-DOB-03-P2-0002-PPE	Dobladora	1	XC-10	CASANOVA
11	MPH-PLE-03-P2-0003-PPE	Plegadora	1	PBS 135	GASPARINI
12	MPH-GUI-03-P2-0004-BC	Guillotina	1	CO 3006	GASPARINI
13	MPH-DOB-03-P2-0005-BC	Dobladora de planchas	1	SO-1014	CHICAGO
ÁREA DE FIBRA					
14	MQL-MEZ-03-P3-0003-BC	Mezcladora	1	MK 160	MK
15	MPE-COM-03-P3-0001-PPE	Compresor de tornillo rotativo	1	GA22VSD	Atlas Copco
16	MPN-AFV-03-P3-0002-PPE	Aspersor de fibra de vidrio	1	Patriot™ Chop/Wetout	MVP
17	MPE-CDS-03-P3-0004-PPE	Cuarto de secado	1	VM3	Varma
ÁREA DE PINTURA					
18	MPE-COM-03-P6-0001-PPE	Compresor	1	837PSA600-4035V200	WEG
19	MPE-COM-03-P6-0001.1-PPE	Compresor	1	V22ACE08-2336D105	WEG
20	MPE-SAC-03-P6-0001.2-PPE	Secador de aire comprimido	1	CRD-3090	COMPARE
21	MPE-CPS-03-P6-0002-PPE	Horno de pintura y secado	1	TG3711198LI5	GOTTERT
22	MPE-CPS-03-P6-0003-PPE	Cabina de preparación	1	N/A	COLOR COVERS

3.1.3. Evaluación externa de la maquinaria

La maquinaria presente para evaluar en el área de fibra de vidrio de la empresa es un compresor de aire de tornillo, un aspersor de fibra de vidrio, una mezcladora MK 160 utilizada para la mezcla de resina y ocasionalmente de pintura y un cuarto de secado, las cuales son de procedencia europea y americana, fabricadas bajo normas de calidad internacionales y de las cuales, mediante los proveedores nacionales, se tienen planos, catálogos con la descripción de componentes e instructivos con actividades de mantenimiento y limpieza que garanticen el buen funcionamiento y extiendan al máximo su vida útil.

Para tener una adecuada evaluación externa hay que tener en cuenta las condiciones físicas propia de cada máquina, las características de trabajo y las condiciones de servicio en las que se desarrollan sistemas eléctricos con sus respectivas condiciones de cableados, de lubricación, presencia de óxido o degradación de algún componente o elemento y la presencia o no de suciedad. Con la finalidad de detallar el estado externo de las máquinas del área de fibra de vidrio se desarrollaron las siguientes tablas.

Tabla 9: Características técnicas y condiciones de servicio de la mezcladora de resina MK 160 de la empresa 'VARMA S.A.'

Mezcladora de resina MK 160	
Condiciones de trabajo	Especificación/ detalle
Tiempo de funcionamiento	8 horas al día
Cableado	Mal estado
Lubricación	No aplica
Señaléticas	No existe
Condición de entorno	Galpón con cubierta de zinc, estado medio
Alimentación	No existe sobrecargas
Pintura	Estado medio
Control	Manual
Estado general	Estado medio
Condiciones de servicio	Especificación/ detalle
Temperatura	Temperatura ambiente
Tipo de instalación	Eléctrica
Tipo de funcionamiento	Manual
Operadores	2

Tabla 10: Características técnicas y condiciones de servicio del compresor de aire de tornillo de la empresa 'VARMA S.A.'

Compresor de aire de tornillo	
Condiciones de trabajo	Especificación/ detalle
Tiempo de funcionamiento	8 horas por día
Cableado	Estado Excelente
Lubricación	Estado Excelente
Señaléticas	Si Existe
Condición de entorno	Cuarto de máquinas en excelente estado
Alimentación	No existe sobrecarga
Pintura	Estado Excelente
Control	Digital/Automático
Estado general	Estado Alto
Condiciones de servicio	Especificación/ detalle
Temperatura	120°
Tipo de instalación	Trifásico 220V
Tipo de funcionamiento	Semiautomático
Operadores	2

Tabla 11: Características técnicas y condiciones de servicio del aspersor de fibra de vidrio de la empresa 'VARMA S.A.'

Aspersor de fibra de vidrio	
Condiciones de trabajo	Especificación/ detalle
Tiempo de funcionamiento	5 horas por día
Cableado	Estado medio
Lubricación	No aplica
Señaléticas	No existe
Condición de entorno	Galpón con cubierta de zinc, estado medio
Alimentación	Hidráulica 125 psi
Pintura	Estado medio
Control	Manual
Estado general	Estado medio
Condiciones de servicio	Especificación/ detalle
Temperatura	Temperatura ambiente
Tipo de instalación	Hidráulica
Tipo de funcionamiento	Manual
Operadores	1

Tabla 12: Características técnicas y condiciones de servicio del cuarto de secado de la empresa 'VARMA S.A.'

Cuarto de Secado	
Condiciones de trabajo	Especificación/ detalle
Tiempo de funcionamiento	8 horas por día
Cableado	Mal estado
Limpieza	Estado bajo
Señaléticas	Si existe
Condición de entorno	Aislado de condiciones del ambiente
Cubierta	Zinc
Pintura	Estado medio
Ventilación	Si existe
Estado general	Estado medio
Condiciones de servicio	Especificación/ detalle
Temperatura	20-25°
Vestimenta	Aislante – impermeable
Equipos de seguridad	Si existe
Operadores	2

3.1.4. Fichas Técnicas

Las fichas técnicas son instrumentos utilizados para detallar información de la maquinaria disponible y previamente enunciada en el inventario de máquinas, en donde se plasma sus características generales, características técnicas, componentes, función y observaciones que ayuden a la verificación y recolección de información para garantizar que se esté empleando su correcto funcionamiento y a realizar acciones de mantenimiento óptimas.

Para la maquinaria detallada en el inventario correspondiente al área de fibra de vidrio, se procede a elaborar un plan de mantenimiento preventivo, en donde para el primer caso se detalla con más detenimiento el procedimiento a seguir, puesto que se emplea la misma modalidad.

3.1.5. Mezcladora MK 160 Collomix Xo6R

Tabla 13: Ficha Técnica de la mezcladora de resina MK 160.

Universidad Técnica de Ambato					
Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica					
Carrera de Ingeniería Mecánica					
Máquina	X	Equipo		Herramienta	
					
Mezcladora de resina					
Características generales			Características técnicas		
Marca	Collomix		Potencia de motor	1600W	
Modelo	Xo6R		Voltaje	110 V	
Año	2018		Frecuencia	60 Hz	
Procedencia	Alemania		Capacidad de mezcla	90 litros	
Color	Verde		Peso	7,8 kg	
Tipo de funcionamiento	Manual o en base RTS		Velocidades (rpm)	Velocidad 1: 350 rpm Velocidad 2: 500rpm	
Componentes					
Motor eléctrico			Sistema eléctrico		
Eje agitador			Adaptadores HEXAFIX/ adaptadores M-14		
Estructura metálica (marcos con soportes de goma)			Aspa MK 160		
Función: Realizar una mezcla homogénea de resina y aglutinante para trabajos en fibra de vidrio y materiales pesados.					
Observaciones: Actividades de limpieza y prevención diarias.					

Las especificaciones técnicas, condiciones de servicio y componentes de la mezcladora de resina ‘MK 160 Collomix Xo6R’ del área de fibra de vidrio de la empresa deben encontrarse ampliamente detalladas, con la finalidad de disponer información que permita un correcto desarrollo de un plan de mantenimiento, las mismas que se describen a continuación:

Especificaciones técnicas:

- Modelo: Xo6R (alemán)
- Clase: Universal
- Motor: 1600 W
- Voltaje: 60 Hz
- Velocidades: 350 – 500 rpm
- Paleta tipo: MK 160
- Acople: Hexafix 25118
- Capacidad de mezcla: 90 litros
- Diámetro máximo de paleta: 160 mm
- Peso: 7.8 kg

Condiciones de servicio:

- Temperatura: dependiente a las condiciones ambientales
- Operarios: 2 personas
- Tiempo de funcionamiento: 4 horas diarias
- Cubierta: galpón con cubierta de zinc
- Funcionamiento: manual

Componentes:

Tabla 14: Componentes de la mezcladora de resina ‘MK 160 Collomix Xo6R’ [48]

Componente	Descripción
Desbloqueo para interruptor ON/OFF	Trabaja a manera de botón de seguridad que bloquea y desbloquea el encendido de la máquina.
Sistema eléctrico	Cableado externo aislado y protegido ante la exposición de partículas del entorno.

Tabla 15: Componentes de la mezcladora de resina ‘MK 160 Collomix Xo6R’ (continuación) [48]

Interruptores ON/OFF	Encendido y apagado de la máquina.
Selector de marchas	Variación del sistema de engranes para obtener las velocidades disponibles de 400 o 560 mm.
Estructura	Estructuras con soportes de goma, soporta el peso en sí de la máquina
Timón o Empuñadura	De goma brindando un agarre ergonómico y seguro a la mezcladora.
Aspa MK 160	Dos hélices anchas de mezcla, cuenta con 3 paletas con rotaciones seleccionables que le permiten trabajar con una alta eficiencia con altas fuerzas transversales.
Adaptadores HEXAFIX/ adaptadores M-14	Adaptadores con función de acople para las aspas MK 160.
Eje agitador	Permite realizar el giro acoplado a las aspas y en sí permite realizar la mezcla.

Tabla 16: Repuestos disponibles para la mezcladora de resina ‘MK 160 Collomix Xo6R’

Repuestos	Cantidad	Característica
Pernos de sujeción	10	Pernos cabeza hexagonal de acero inoxidable espárrago
Soportes del timón, empuñadura o marcos de metal	1	Estructura soporte del timón con topes de goma para facilitar el agarre
Interruptores	5	Plástico de alta resistencia de fácil acople
Acoples/Adaptadores M-14	2	HEXAFIT 25118 facilita el cambio de mecanismo mezclador, cuenta con funda protectora anti-suciedad.
Varilla	1	Varilla hexagonal de 13 mm se conecta con el acople HEXAFIT

Instrucciones de funcionamiento

- Comprobar que el voltaje de la red coincida con las especificaciones técnicas detalladas en la placa del equipo.

- Sostener firmemente con ambas manos la máquina.
- Presionar el botón de bloqueo de encendido
- Presionar el interruptor de Encendido/Apagado
- Regular la velocidad mediante la presión en el interruptor de Encendido/Apagado
- Para terminar el trabajo suelte el interruptor de ON/OFF
- En máquinas con caja de cambios con 2 velocidades regular con la palanca selectora de marchas girándola 180° [48]

Normas de seguridad

- El voltaje de la red eléctrica a conectarse debe coincidir con las especificaciones detalladas en la placa de identificación.
- Evitar utilizar el equipo en un ambiente con una potencial atmósfera explosiva.
- Mezclar con un punto de inflamación menor a 21°C
- Evitar que líquidos entren en contacto con la carcasa del motor
- Nunca realizar limpieza con agua, peligro de descarga eléctrica
- Evitar enrollar cables del equipo con partes del cuerpo
- Evitar utilizar con cables dañados
- Sostener el equipo con ambas manos mientras se ocupe
- Revisiones de seguridad de agarre del agitador y su funcionamiento. [48]

Instrucciones de mantenimiento

Los detalles de cuidados y mantenimientos brindados por los fabricantes son indispensables para garantizar el buen funcionamiento de la máquina y alargar la vida útil de la misma, aquí se encuentran actividades que deben realizarse rutinaria o periódicamente.

Dentro de las actividades rutinarias de mantenimiento y de control general se encuentran principalmente aspectos de limpieza de la maquinaria y mecanismos inmediatamente después de terminar su uso cotidiano, especialmente en componentes críticos como el acoplamiento y sistemas eléctricos para evitar su deterioro anticipado.

A continuación, se presentan actividades de mantenimiento, limpieza y lubricación para la mezcladora ‘MK 160 Collomix Xo6R’

Tabla 17: Frecuencia y actividades de mantenimiento, limpieza y lubricación de la mezcladora de resina MK 160 Collomix Xo6R’ [48]

Mantenimiento						
Actividad	Diario	Semanal	Quincenal	Mensual	Semestral	Anual
Controlar la sujeción, ajuste y estado de pernos		x				
Control de las instalaciones eléctricas y cableados		x				
Controlar la suavidad de funcionamiento de el interruptor ON/OFF				x		
Extracción, revisión y limpieza del acoplamiento el mecanismo mezclador	x					
Revisar el estado de los carbones de desconexión automática			x			
Limpieza						
Limpieza general de estructura de la mezcladora					x	
Limpieza del acoplamiento HEXAFIX	x					
Limpieza de las ranuras de ventilación		x				
Limpieza de selector de marchas				x		
Limpieza de timón y soportes de goma					x	
Limpieza de aspas	x					
Lubricación						
Lubricación del alojamiento hexagonal del acoplamiento				x		

Estadístico de mantenimiento anual

Tabla 18: Estadístico de mantenimiento anual de la Mezcladora de MK 160 Collomix Xo6R

Máquina	Mezcladora de MK 160 Collomix Xo6R										
Horas de Trabajo	8 horas diarias										
Mes	Actividad	Fecha	TO (h)	TR (h)	TM (h)	TP(h)	MTBF (h)	λ	MTTR (h)	μ	D (%)
Enero	Inicio de actividades laborales (nuevo año)	02/01/2020					42,33	0,0236	0,167	6	0,9960
	Revisiones de pernos de sujeción y timón	07/01/2020	40	0,1	0,1	0,2					
	Revisión y control de sistema eléctrico y conexiones	14/01/2020	55	0,2	0,1	0,3					
	Limpieza general de la máquina	21/01/2020	32	0,2	0,1	0,3					
Febrero	Revisión de suavidad de pulso de interruptor de ON/OFF	04/02/2020	27	0,1	0,1	0,2	37,625	0,0266	0,175	5,714	0,9953
	Revisión y limpieza de ranuras de ventilación	11/02/2020	24	0,1	0,1	0,2					

Tabla 18: Estadístico de mantenimiento anual de la Mezcladora de MK 160 Collomix Xo6R (continuación).

	Control de los carbones de desconexión automática	17/02/2020	56	0,3	0,2	0,5					
	Limpieza de acople HEXAFIX	24/02/2020	43,5	0,2	0,1	0,3					
Marzo	Limpieza de aspas	02/03/2020	26	0,1	0,1	0,2	32,25	0,0310	0,125	8	0,9961
	Revisión de pernos de sujeción y timón	09/03/2020	33	0,1	0,1	0,2					
	Revisión y control de sistema eléctrico y conexiones	16/03/2020	42	0,2	0,1	0,3					
	Revisión y limpieza de ranuras de ventilación	23/03/2020	28	0,1	0,1	0,2					
Abril	Lubricación del alojamiento hexagonal del acople	01/04/2020	44	0,3	0,2	0,5	36,5	0,0274	0,225	4,4444	0,9938
	Limpieza general de la máquina	06/04/2020	30	0,2	0,1	0,3					
	Control de los carbones de desconexión automática	13/04/2020	49	0,3	0,2	0,5					
	Limpieza de aspas	27/04/2020	23	0,1	0,1	0,2					
Mayo	Control de nivel de corrosión de pernos	04/05/2020	32	0,2	0,1	0,3	33,5	0,0299	0,175	5,7142	0,9948
	Revisión de suavidad de pulso de interruptor de ON/OFF	11/05/2020	22	0,1	0,1	0,2					

Tabla18: Estadístico de mantenimiento anual de la Mezcladora de MK 160 Collomix Xo6R (continuación).

	Revisión y limpieza del selector de marchas	18/05/2020	34	0,2	0,1	0,3					
	Limpieza de acople HEXAFIX	25/05/2020	46	0,2	0,1	0,3					
Junio	Revisión y control de sistema eléctrico y conexiones	01/06/2020	46	0,2	0,1	0,3	38	0,0263	0,2333	4,2857	0,9938
	Revisión de los carbones de desconexión automática	15/06/2020	40	0,3	0,2	0,5					
	Limpieza general de la máquina	26/06/2020	28	0,2	0,1	0,3					
Julio	Revisión y limpieza de ranuras de ventilación	06/07/2020	26	0,1	0,1	0,2	33,5	0,0299	0,15	6,6667	0,9955
	Limpieza de acople HEXAFIX	20/07/2020	41	0,2	0,1	0,3					
Agosto	Lubricación del alojamiento hexagonal del acople	03/08/2020	40	0,3	0,2	0,5	31,6666	0,0316	0,1667	6	0,9947
	Revisiones de pernos de sujeción y timón	10/08/2020	30	0,1	0,1	0,2					
	Revisión de suavidad de pulso de interruptor de ON/OFF	17/08/2020	25	0,1	0,1	0,2					
Septiembre	Limpieza general de la máquina	07/09/2020	26	0,2	0,1	0,3	25,5	0,0392	0,15	6,6666	0,9941

Tabla 18: Estadístico de mantenimiento anual de la Mezcladora de MK 160 Collomix Xo6R (continuación).

	Limpieza de aspas	21/09/2020	25	0,1	0,1	0,2					
Octubre	Revisión y control de sistema eléctrico y conexiones	05/10/2020	40	0,2	0,1	0,3	34	0,0294	0,15	6,6666	0,9956
	Revisiones de pernos de sujeción y timón	19/10/2020	28	0,1	0,1	0,2					
Noviembre	Revisión de suavidad de pulso de interruptor de ON/OFF	02/11/2020	27	0,1	0,1	0,2	28	0,0357	0,1	10	0,9964
	Revisión y limpieza de ranuras de ventilación	16/11/2020	29	0,1	0,1	0,2					
Diciembre	Limpieza de acople HEXAFIX	07/12/2020	40	0,2	0,1	0,3	35,3333	0,0283	0,23333	4,2857	0,9934
	Lubricación del alojamiento hexagonal del acople	14/12/2020	38	0,3	0,2	0,5					
	Limpieza general de la máquina	21/12/2020	28	0,2	0,1	0,3					

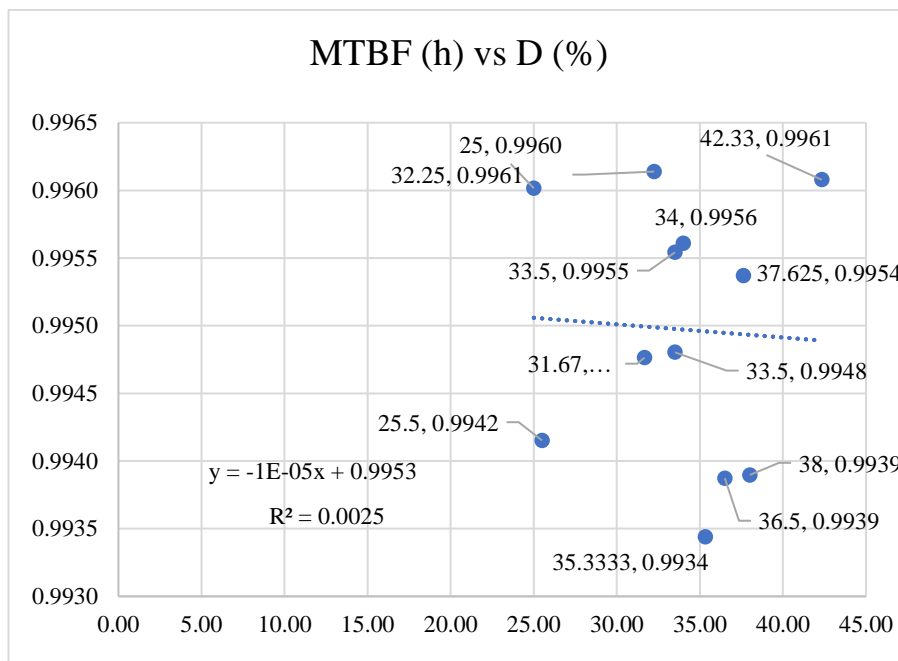


Figura 21: Gráfica de MTBF (h) vs D (%) de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R

En la figura 21 presenta el punto de máxima disponibilidad con un valor de 0,9961=99,61% correspondiente un tiempo de buen funcionamiento de 42,33 horas semanales y la mínima disponibilidad es de 0,9934=99,34% correspondiente un tiempo de buen funcionamiento de 35,33 horas semanales, debido a que los datos se encuentran dispersos los valores del coeficiente de determinación no rondan la unidad $R^2 = 0.0025$.

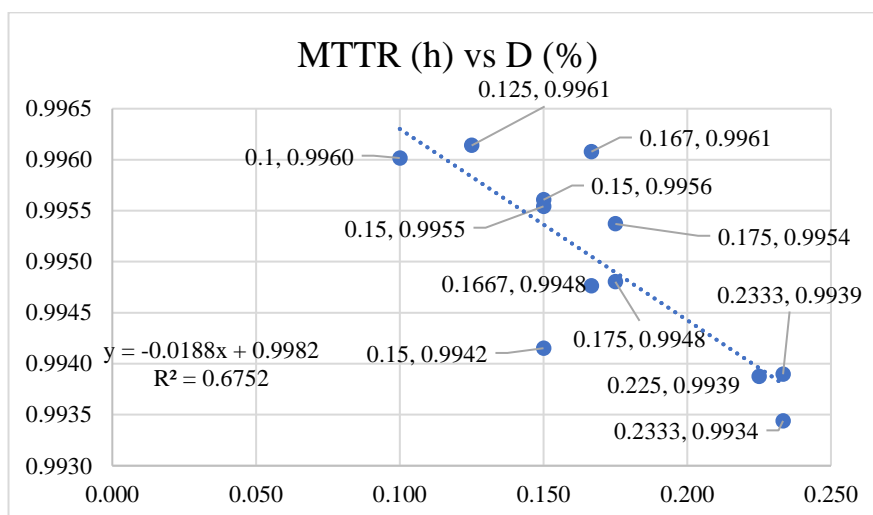


Figura 22: Gráfica de MTTR (h) vs D (%) de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R

En la figura 22 presenta el punto de máxima disponibilidad con un valor de $0,9961=99,61\%$ correspondiente para tiempo de reparación de 0,125 horas semanales y la mínima disponibilidad es de $0,9934=99,34\%$ correspondiente para un tiempo reparación de 0,233 horas semanales, existe una relación de los datos encontrados ya que los valores del coeficiente de determinación rondan la unidad $R^2 = 0,675$.

Matriz AMFE

Tabla 19: Valoraciones para índices para la Matriz AMFE [43]

Valoraciones	
Índice de Gravedad (G) (1-10)	
Muy baja (Repercusiones imperceptibles)	1 – 2
Baja (Repercusiones apenas perceptibles)	3 – 4
Moderada (Defectos de relativa importancia)	5 - 6
Alta (Crítica)	7 – 8
Muy alta (Catastrófico)	9 – 10
Índice de Frecuencia (F) (1-10)	
Muy baja (improbable)	1 - 2
Baja (Remoto)	3 – 4
Moderada (Ocasional)	5 – 6
Alta (Frecuente)	7 - 8
Muy alta (Muy frecuente)	9 - 10
Índice de la Detectabilidad (D) (1-10)	
Muy alta	1 – 2
Alta	3 – 4
Mediana (Moderada)	5 – 6
Pequeña (Escasa)	7 – 8
Improbable (Muy escasa)	9 – 10

Según lo estipulado en la Nota Técnica de Prevención NTP 679 los riesgos se los consideran críticos cuando el Índice de Prioridad de riesgo IPR tiene un valor mayor a 100. A continuación, se realiza el análisis de la matriz de criterios ponderados AMFE para la Mezcladora de MK 160 Collomix Xo6R

Tabla 20: Matriz AMFE de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R

Matriz de criterios ponderados AMFE											
Máquina:	Mezcladora MK 160		Marca:	Collomix		Fecha realización:	10/12/2021			Hoja N°:	1
Área:	Área de Fibra		Modelo:	Xo6R		Fecha revisión:				De:	1
N°	Descripción del componente	Función del componente	Falla funcional	Modo de fallo	Causa Raíz	Efecto	Valoración				Recomendación
							G	F	D	IPR	
1	Desbloqueo para interruptor ON/OFF	Bloquear y desbloquear el interruptor ON/OFF	Rotura de interruptor	Rotura	Inadecuada manipulación del interruptor	Dificultad al bloquear o desbloquear el interruptor de ON/OFF	2	4	2	16	Realizar una adecuada manipulación del botón de desbloqueo
2	Sistema Eléctrico	Alimentar el paso de la energía eléctrica por la máquina	Rotura de cableado interno	Rotura	Cortocircuito	Paro operacional	5	6	6	180	Supervisión y limpieza constante de cableados y evitar exposición a medios externos que supongan un riesgo a su funcionalidad

Tabla 20: Matriz AMFE de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R (continuación).

N°	Descripción del componente	Función del componente	Falla funcional	Modo de fallo	Causa Raíz	Efecto	G	F	D	IPR	Recomendación
3	Interruptores ON/OFF	Encender o apagar el equipo y regular la velocidad de la máquina	Rotura o desgaste de interruptor	Rotura/ desgaste	Incorrecta manipulación del interruptor	Paro operacional	5	2	6	60	Correcta manipulación y regulación de velocidades del interruptor
4	Selector de marchas	Regular las marchas de velocidad lenta o rápida	Atascamiento en la selección de marchas	Atascamiento	Presencia de partículas o impurezas en el radio de giro del selector	Atascamiento de las marchas de velocidad de giro	3	4	3	36	Limpieza adecuada de residuos de mezclas del área del selector de marchas
5	Estructura	Soportar el peso de los componentes de la máquina	Corrosión	Desgaste	Oxidación y desgaste producido por la exposición al ambiente y las condiciones de trabajo	Deterioro de la estructura y del funcionamiento general	3	5	2	30	Limpieza periódica y adecuada de residuos propios del funcionamiento de la máquina

Tabla 20: Matriz AMFE de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R (continuación).

6	Timón o empuñadura	Brindar un agarre ergonómico y seguro a la mezcladora en su funcionamiento.	Rotura de los mangos de goma del timón	Rotura	Fricción provocada con el funcionamiento o propio de la máquina	Deficiente agarre del operador al iniciar una mezcla determinada	3	4	3	36	Realizar un correcto agarre del timón uniformemente a ambos extremos durante el funcionamiento de la máquina
7	Aspa MK 160	Realizar el movimiento giratorio que provoca la mezcla de materiales mediante fuerzas transversales	Rotura de las hélices de las aspas	Rotura	Fricción propia de las aspas con los materiales a mezclarse	Paro operacional	6	5	4	120	Supervisión constante de materiales a mezclarse y limpieza de escombros diaria después del funcionamiento de la máquina
8	Adaptadores HEXAFIX	Permitir el acople de las aspas MK 160 con el eje mezclador y cuello de la máquina	Rotura del adaptador M-14	Rotura	Montaje propio del funcionamiento o acumulativo de la máquina	Paro operacional	5	5	5	125	Montaje y desmontaje del mecanismo mezclador con el alojamiento HEXAFIX
9	Eje agitador	Realizar el giro del mecanismo mezclador previamente acoplado y en sí permite realizar la mezcla.	Acople inadecuado del eje con el adaptador HEXAFIX	Aislamiento	Montaje inadecuado del acople HEXAFIX con el eje agitador	Paro operacional	7	4	4	112	Montaje y desmontaje adecuado de acoples y adaptadores al iniciar y terminar el funcionamiento de la máquina
Promedio										79,44	

Análisis de criticidad de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R

Tabla 21: Criterio para evaluar Frecuencia de Fallas

FRECUENCIA DE FALLAS	VALOR FFF
Mayor a 4 Fallas/Semestre	4
2 – 4 Fallas/Semestre	3
1 –24 Fallas/Semestre	2
Mínimo 1 Falla/Semestre	1

Tabla 22: Criterio para evaluar Impacto Operacional

IMPACTO OPERACIONAL	VALOR IP
Parada total o Inmediata de Maquina o Equipo	10
Parada parcial de la Maquina o Equipo	8
Impacto de niveles de Operación (Indisponibilidad)	5
No genera ningún efecto significativo sobre las demás actividades	1

Tabla 23: Criterio para evaluar Flexibilidad Operacional

FLEXIBILIDAD OPERACIONAL	VALOR FO
No existe otra máquina o equipo que lo reemplace	4
Hay opciones de repuesto compartido	2
Función de repuesto disponible (Bodega)	1


Tabla 24: Criterio para evaluar Costos de Mantenimiento

COSTOS DE MANTENIMIENTO	VALOR CM
Mayor o igual a 801,00	10
Entre 201,00 y 800,00	7
Entre 51,00 y 200,00	4
Menor a 50,00	1

Tabla 25: Criterio para evaluar Impacto de Seguridad Ambiental y Humana

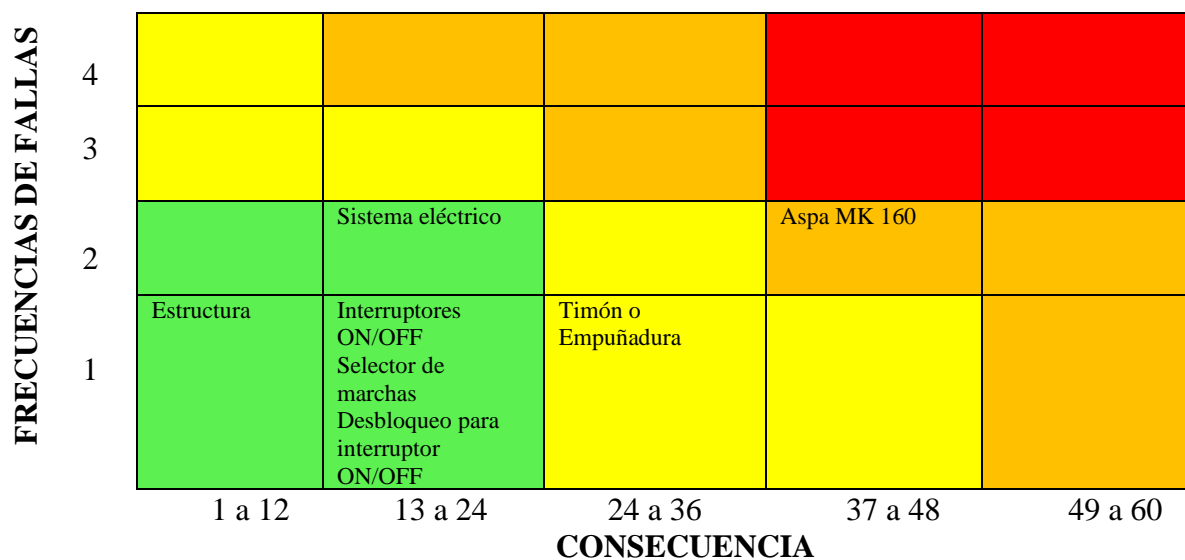
IMPACTO DE SEGURIDAD AMBIENTAL Y HUMANA	VALOR SAH
Afecta a la seguridad humana	10
Afecta al medio ambiente produciendo daños irreversibles	7
Afecta a las instalaciones causando daños irreversibles	5
Provoca daños menores (accidentes o incidentes)	2
Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no afecta considerablemente	1
No provoca ningún tipo de daños a personas instalaciones o ambiente	0

Tabla 26: Cálculo de criticidad de la Mezcladora MK 160 Collomix Xo6R

				Universidad Técnica de Ambato						Estado de criticidad
				Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica						
				Carrera de Ingeniería Mecánica						
Mezcladora MK 160 Collomix Xo6R		Código:	MQL-MEZ-03-P3-0003-BC	MATRIZ DE CRITICIDAD		CÁLCULO DE CRITICIDAD CON FORMULA				
		Registro N°	01	HOJA N°	01 DE 01					
N°	ELEMENTOS	IP	FO	CM	SAH	FFF	CONSECUENCIA	CRITICIDAD		
1	Desbloqueo para interruptor ON/OFF	5	4	1	0	1	21	21	NC	
2	Sistema eléctrico	8	1	1	1	2	10	20	NC	
3	Interruptores ON/OFF	8	2	1	1	1	18	18	NC	
4	Selector de marchas	5	4	1	0	1	21	21	NC	
5	Estructura	8	1	4	0	1	12	12	NC	
6	Timón o Empuñadura	5	4	4	0	1	24	24	SC	

N°	ELEMENTOS	IP	FO	CM	SAH	FFF	CONSECUENCIA	CRITICIDAD	E/C
7	Aspa MK 160	5	2	1	0	2	11	22	NC
8	Adaptadores HEXAFIX/ adaptadores M-14	8	4	1	0	1	33	33	SC
9	Eje agitador	8	4	4	0	1	36	36	SC
PROMEDIO DE CRITICIDAD						1,2	20,6	23	
NOMBRE:				FECHA:					
REALIZÓ:	Steven Vargas								
VERIFICÓ:	Ing. Mg Christian Castro								
VALIDÓ:	Ing. Mg Christian Castro								

Tabla 27: Matriz de criticidad de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R



Modelo matemático de Weibull de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R

Tabla 28: Datos estadísticos de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R

Actividad	N° de falla	TO (h)	ln (To)
1	1	40	3,6889
2	1	55	4,0073
3	1	32	3,4657

Tabla 28: Datos estadísticos de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R (continuación)

Actividad	N° de falla	TO (h)	ln (To)
4	1	27	3,2958
5	1	24	3,1781
6	1	56	4,0254
7	1	43,5	3,7728
8	1	26	3,2581
9	1	33	3,4965
10	1	42	3,7377
11	1	28	3,3322
12	1	44	3,7842
13	1	30	3,4012
14	1	49	3,8918
15	1	23	3,1355
16	1	32	3,4657
17	1	22	3,0910
18	1	34	3,5264
19	1	46	3,8286
20	1	46	3,8286
21	1	40	3,6889
22	1	28	3,3322
23	1	26	3,2581
24	1	41	3,7136
25	1	40	3,6889
26	1	30	3,4012
27	1	25	3,2189
28	1	26	3,2581
29	1	25	3,2189
30	1	40	3,6889
31	1	28	3,3322
32	1	27	3,2958
33	1	29	3,3673
34	1	40	3,6889
35	1	38	3,6376
36	1	28	3,3322
Total	36		173,3

Con los valores obtenidos en la tabla 28, se procede a obtener el valor de la media \bar{x} .

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n \ln(T_o)}{n}$$

$$\bar{x} = \frac{173,3}{36}$$

$$\bar{x} = 4,8138$$

Con los datos obtenidos de la media, se procede a realizar el cálculo de la varianza, el mismo que se presenta en la tabla 29.

Tabla 29: Datos calculados para obtener el valor de la varianza de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R

Actividad	N° de falla	TO (h)	$\ln(T_o)$	$(\ln(T_o) - \bar{x})^2$
1	1	40	3,6889	1.1924
2	1	55	4,0073	0.6977
3	1	32	3,4657	1.4272
4	1	27	3,2958	2.9396
5	1	24	3,1781	2.3946
6	1	56	4,0254	0.7984
7	1	43,5	3,7728	2.0686
8	1	26	3,2581	2.3946
9	1	33	3,4965	3.6679
10	1	42	3,7377	0.8730
11	1	28	3,3322	1.9722
12	1	44	3,7842	1.3642
13	1	30	3,4012	2.0686
14	1	49	3,8918	0.7984
15	1	23	3,1355	2.2793
16	1	32	3,4657	2.7891
17	1	22	3,0910	0.9128
18	1	34	3,5264	1.8812
19	1	46	3,8286	1.3642
20	1	46	3,8286	0.7298
21	1	40	3,6889	1.7136
22	1	28	3,3322	2.3946

Tabla 29: Datos calculados para obtener el valor de la varianza de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R (continuación)

23	1	26	3,2581	1.9722
24	1	41	3,7136	1.3042
25	1	40	3,6889	0.6087
26	1	30	3,4012	1.4934
27	1	25	3,2189	1.9722
28	1	26	3,2581	2.0686
29	1	25	3,2189	1.7136
30	1	40	3,6889	0.6977
31	1	28	3,3322	1.7951
32	1	27	3,2958	1.2470
33	1	29	3,3673	1.8812
34	1	40	3,6889	1.0907
35	1	38	3,6376	1.7951
36	1	28	3,3322	1.7136
Total	36		126,33	60,075

$$S^2 = \frac{(\ln(T_o) - \bar{x})^2}{(n - 1)}$$

$$S^2 = \frac{60,075}{36 - 1}$$

$$S^2 = 1,7164$$

Con el valor obtenido de la varianza, se calcula el valor de la desviación, como se muestra a continuación.

$$S = \sqrt{S^2}$$

$$S = \sqrt{1,7164} = 1,3101$$

Se necesita el cálculo de varios parámetros indispensables para la resolución de la ecuación de Weibull, los mismos que se detallan a continuación.

$$\beta = \frac{\pi}{S\sqrt{6}}$$

$$\beta = \frac{\pi}{1,3101\sqrt{6}}$$

$$\beta = 0,979$$

$$\alpha = \exp\left(\bar{x} + \frac{0,5772}{\beta}\right)$$

$$\alpha = \exp\left(4,805 + \frac{0,5772}{0,979}\right)$$

$$\alpha = 220,36$$

En base a los estadísticos de cada máquina, los cálculos realizados y la consideración de $\gamma = 0$, que se considera el valor de 0 ya que indica el tiempo a partir del que se genera la distribución, los valores que se presentan en la tabla 30.

Tabla 30: Datos calculados en base a estadísticos de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R

Parámetros calculados	
<i>Media</i> (\bar{x})	4,805
<i>Varianza</i> (S^2)	1,716
<i>Desviación</i> (S)	1,3101
<i>Parámetro de forma</i> (β)	0,979
<i>Parámetro de escala</i> (α)	220,36
<i>Parámetro de localización</i> (γ)	0

Con los parámetros iniciales calculados presentados, se calcula la fiabilidad e infiabilidad de Weibull, como se muestra a continuación.

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{T_0 - \gamma}{\alpha}\right)^{\frac{1}{\beta}}\right]$$

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{40-0}{220,36}\right)^{\frac{1}{0,979}}\right]$$

$$R(t) = 0,3632$$

$$F(t) = 1 - R(t)$$

$$F(t) = 1 - 0,3632$$

$$F(t) = 0,6368$$

El cálculo detallado corresponde a los valores de fiabilidad e in fiabilidad de la primera actividad del estadístico para la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R, de la misma forma se realiza para todas las actividades detalladas en el estadístico de la máquina.

Tabla 31: Cálculos de fiabilidad e in fiabilidad de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R.

Actividad	N° de falla	TO (h)	$\ln(To)$	$(\ln(To) - \bar{x})^2$	$R(t)$	$R(t)\%$	$F(t)$	$F(t)\%$
1	1	40	3,6889	0,0323	0,3632	36,3178	0,6368	63,6822
2	1	55	4,0073	0,2481	0,3396	33,9648	0,6604	66,0352
3	1	32	3,4657	0,0019	0,3797	37,9683	0,6203	62,0317
4	1	27	3,2958	0,0455	0,3922	39,2235	0,6078	60,7765
5	1	24	3,1781	0,1097	0,4009	40,0922	0,5991	59,9078
6	1	56	4,0254	0,2664	0,3383	33,8320	0,6617	66,1680
7	1	43,5	3,7728	0,0694	0,3570	35,6974	0,6430	64,3026
8	1	26	3,2581	0,0631	0,3950	39,5020	0,6050	60,4980
9	1	33	3,4965	0,0002	0,3774	37,7407	0,6226	62,2593
10	1	42	3,7377	0,0522	0,3596	35,9569	0,6404	64,0431
11	1	28	3,3322	0,0313	0,3896	38,9550	0,6104	61,0450
12	1	44	3,7842	0,0756	0,3561	35,6129	0,6439	64,3871
13	1	30	3,4012	0,0117	0,3845	38,4453	0,6155	61,5547
14	1	49	3,8918	0,1464	0,3482	34,8175	0,6518	65,1825
15	1	23	3,1355	0,1397	0,4041	40,4057	0,5959	59,5943
16	1	32	3,4657	0,0019	0,3797	37,9683	0,6203	62,0317
17	1	22	3,0910	0,1749	0,4073	40,7329	0,5927	59,2671
18	1	34	3,5264	0,0003	0,3752	37,5199	0,6248	62,4801
19	1	46	3,8286	0,1020	0,3528	35,2843	0,6472	64,7157
20	1	46	3,8286	0,1020	0,3528	35,2843	0,6472	64,7157
21	1	40	3,6889	0,0323	0,3632	36,3178	0,6368	63,6822
22	1	28	3,3322	0,0313	0,3896	38,9550	0,6104	61,0450
23	1	26	3,2581	0,0631	0,3950	39,5020	0,6050	60,4980
24	1	41	3,7136	0,0417	0,3614	36,1351	0,6386	63,8649
25	1	40	3,6889	0,0323	0,3632	36,3178	0,6368	63,6822
26	1	30	3,4012	0,0117	0,3845	38,4453	0,6155	61,5547
27	1	25	3,2189	0,0843	0,3979	39,7913	0,6021	60,2087

Tabla 31: Cálculos de fiabilidad e in fiabilidad de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R (continuación).

28	1	26	3,2581	0,0631	0,3950	39,5020	0,6050	60,4980
29	1	25	3,2189	0,0843	0,3979	39,7913	0,6021	60,2087
30	1	40	3,6889	0,0323	0,3632	36,3178	0,6368	63,6822
31	1	28	3,3322	0,0313	0,3896	38,9550	0,6104	61,0450
32	1	27	3,2958	0,0455	0,3922	39,2235	0,6078	60,7765
33	1	29	3,3673	0,0202	0,3870	38,6958	0,6130	61,3042
34	1	40	3,6889	0,0323	0,3632	36,3178	0,6368	63,6822
35	1	38	3,6376	0,0165	0,3670	36,6972	0,6330	63,3028
36	1	28	3,3322	0,0313	0,3896	38,9550	0,6104	61,0450

Con los valores presentados en la tabla 31 se procede a realizar las gráficas comparativas de fiabilidad con tiempo de operación y de in fiabilidad con tiempo de operación, como se presenta a continuación.

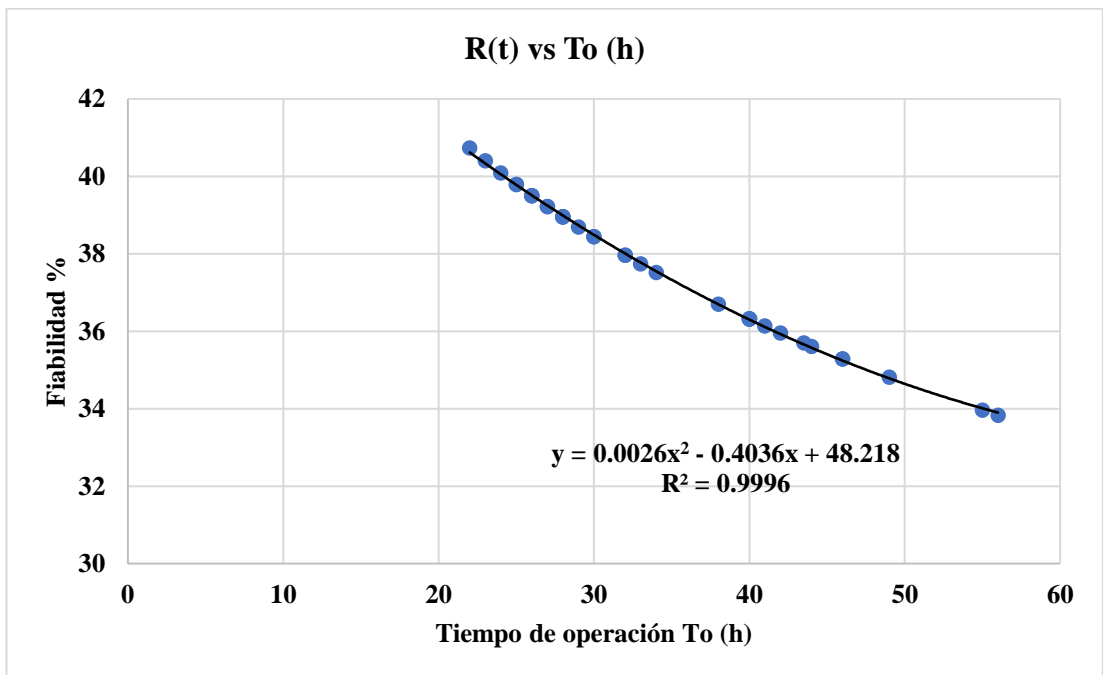


Figura 23: Gráfica de fiabilidad R(t) vs tiempo de operación To de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R.

En base a la gráfica 23 se exponen las siguientes afirmaciones:

- Las gráficas poseen comportamientos de tendencias logarítmicas por su naturaleza de datos correlacionados.

- Con el aumento del tiempo de operación la fiabilidad disminuye, debido a que con el propio funcionamiento de la maquinaria hay un desgaste mayor y hay mayor probabilidad de aparición de fallas.
- La mezcladora MK 160 Collomix Xo6R presenta una tasa de fallos decreciente, por lo que se le considera dentro de la zona de mantenimiento infantil.

Modelo gráfico de Weibull para la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R

Mediante la ecuación para el cálculo de porcentaje de fallos acumulativos se procede a realizar la tabla 32 en donde se detallan estos valores.

$$F(i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4}$$

Tabla 32: Datos del porcentaje de falla acumulativa F(i)

Número de fallas (<i>i</i>)	<i>T_o</i> (h)	Rango medio	Porcentaje de fallas acumulativas <i>F_i</i> (%)
1	40	0,0192	1,9231
2	55	0,0467	4,6703
3	32	0,0742	7,4176
4	27	0,1016	10,1648
5	24	0,1291	12,9121
6	56	0,1566	15,6593
7	43,5	0,1841	18,4066
8	26	0,2115	21,1538
9	33	0,2390	23,9011
10	42	0,2665	26,6484
11	28	0,2940	29,3956
12	44	0,3214	32,1429
13	30	0,3489	34,8901
14	49	0,3764	37,6374
15	23	0,4038	40,3846
16	32	0,4313	43,1319
17	22	0,4588	45,8791

Tabla 32: Datos del porcentaje de falla acumulativa $F(i)$ (continuación).

18	34	0,4863	48,6264
19	46	0,5137	51,3736
20	46	0,5412	54,1209
21	40	0,5687	56,8681
22	28	0,5962	59,6154
23	26	0,6236	62,3626
24	41	0,6511	65,1099
25	40	0,6786	67,8571
26	30	0,7060	70,6044
27	25	0,7335	73,3516
28	26	0,7610	76,0989
29	25	0,7885	78,8462
30	40	0,8159	81,5934
31	28	0,8434	84,3407
32	27	0,8709	87,0879
33	29	0,8984	89,8352
34	40	0,9258	92,5824
35	38	0,9533	95,3297
36	28	0,9808	98,0769

En el papel de Weibull se procede a graficar los parámetros obtenidos en base a estadísticos y cálculos de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R, considerando que en el eje x se encuentra el tiempo de operación y en el eje y el porcentaje de falla acumulativa en porcentaje.

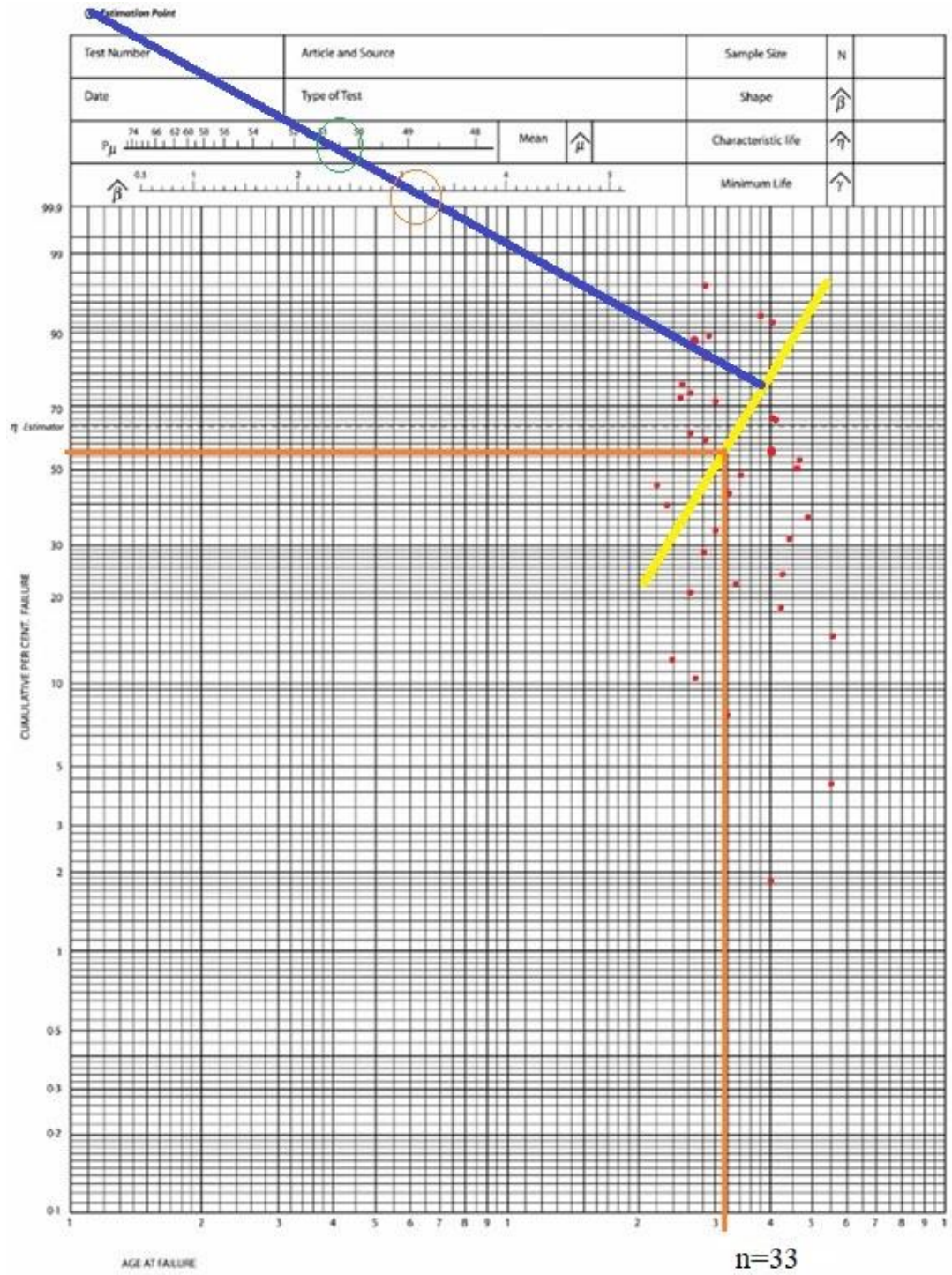


Figura 24: Papel de Weibull para la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R

Mediante el método gráfico se estiman los siguientes valores.

Tabla 33: Parámetros de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R

P_u	51
β	2,9
n	33

Con los parámetros establecidos mediante el método gráfico de Weibull, se obtiene valores de confiabilidad reemplazando en la siguiente fórmula:

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{T_o - \gamma}{n}\right)^\beta\right]$$

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{40 - 0}{33}\right)^{2,9}\right]$$

$$R(t) = 0,1743 = 17,43\%$$

Tabla 34: Cálculo de la fiabilidad mediante el método gráfico de Weibull.

Número de fallas (i)	T_o (h)	Rango medio	Porcentaje de fallas acumulativas Fi (%)	$R(t)$	$R(t)\%$
1	40	0,0192	1,9231	0,1743	17,4303
2	55	0,0467	4,6703	0,0123	1,2289
3	32	0,0742	7,4176	0,4007	40,0666
4	27	0,1016	10,1648	0,5719	57,1889
5	24	0,1291	12,9121	0,6723	67,2253
6	56	0,1566	15,6593	0,0097	0,9706
7	43,5	0,1841	18,4066	0,1077	10,7736
8	26	0,2115	21,1538	0,6060	60,5998
9	33	0,2390	23,9011	0,3679	36,7879
10	42	0,2665	26,6484	0,1337	13,3656
11	28	0,2940	29,3956	0,5374	53,7425
12	44	0,3214	32,1429	0,0999	9,9943
13	30	0,3489	34,8901	0,4684	46,8364
14	49	0,3764	37,6374	0,0430	4,2987
15	23	0,4038	40,3846	0,7040	70,3976
16	32	0,4313	43,1319	0,4007	40,0666

Tabla 34: Cálculo de la fiabilidad mediante el método gráfico de Weibull (continuación).

Número de fallas (<i>i</i>)	<i>T_o</i> (h)	Rango medio	Porcentaje de fallas acumulativas <i>F_i</i> (%)	<i>R(t)</i>	<i>R(t)</i> %
17	22	0,4588	45,8791	0,7345	73,4506
18	34	0,4863	48,6264	0,3361	33,6071
19	46	0,5137	51,3736	0,0728	7,2800
20	46	0,5412	54,1209	0,0728	7,2800
21	40	0,5687	56,8681	0,1743	17,4303
22	28	0,5962	59,6154	0,5374	53,7425
23	26	0,6236	62,3626	0,6060	60,5998
24	41	0,6511	65,1099	0,1531	15,3102
25	40	0,6786	67,8571	0,1743	17,4303
26	30	0,7060	70,6044	0,4684	46,8364
27	25	0,7335	73,3516	0,6395	63,9525
28	26	0,7610	76,0989	0,6060	60,5998
29	25	0,7885	78,8462	0,6395	63,9525
30	40	0,8159	81,5934	0,1743	17,4303
31	28	0,8434	84,3407	0,5374	53,7425
32	27	0,8709	87,0879	0,5719	57,1889
33	29	0,8984	89,8352	0,5028	50,2839
34	40	0,9258	92,5824	0,1743	17,4303
35	38	0,9533	95,3297	0,2219	22,1905
36	28	0,9808	98,0769	0,5374	53,7425

En la figura 25 de comparación de fiabilidad con tiempo de operación se afirma lo siguiente:

- Con el aumento del tiempo de operación la fiabilidad disminuye, por el propio desgaste de la máquina y sus componentes.
- El coeficiente de determinación es similar en el método matemático y el método gráfico de Weibull, lo que corrobora la validez del desarrollo.

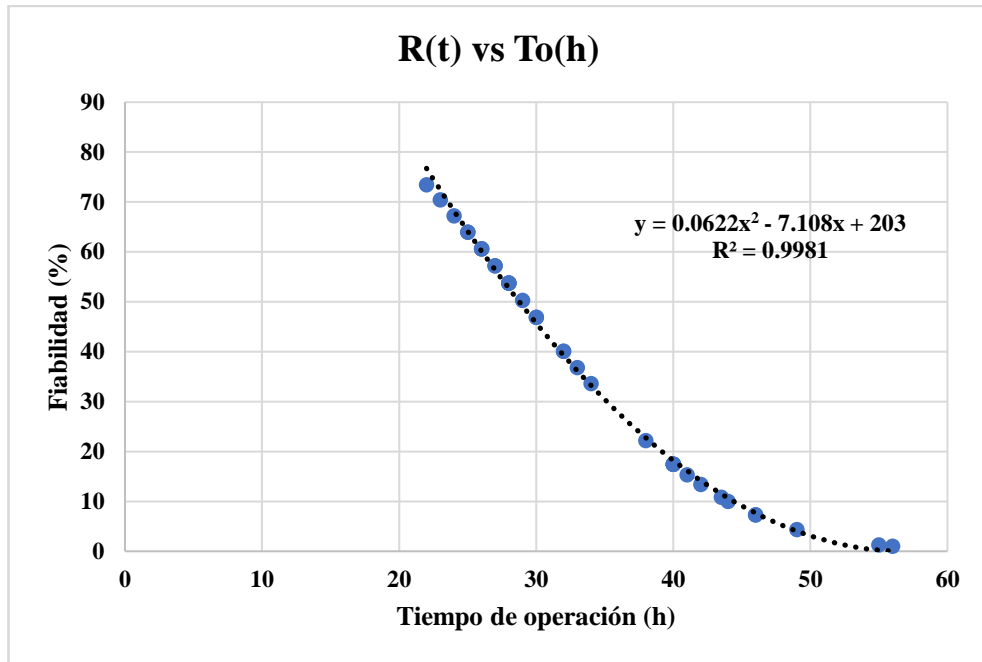


Figura 25: Gráfica de Fiabilidad vs Tiempo de operación de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R

Bitácoras de mantenimiento

En base a las consideraciones estadísticas y cálculos de fiabilidad de Weibull, se desarrolla bitácoras de actividades de mantenimiento para la máquina analizada con la intención de prevenir fallos imprevistos de los componentes o sistemas, para las cuales se ha designado un código de colores en función a la frecuencia en la que se deben aplicar las actividades.

Tabla 35: Frecuencia de aplicación de las actividades de mantenimiento.

Frecuencia	Color
Diaria	Azul oscuro
Semanal	Verde oscuro
Mensual	Amarillo
Semestral	Cian
Anual	Naranja

Gamas de mantenimiento

Tabla 36: Gama de mantenimiento de enero de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R

Máquina	Actividades	Estado		ENERO																																					
		Encendido	Apagado	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes							
				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	26	27	28	29	30	31							
Mezcladora MK 160 Collomix Xo6R	Controlar la sujeción, ajuste y estado de pernos		X																																						
	Control de las instalaciones eléctricas y cableados		X																																						
	Controlar la suavidad de funcionamiento de el interruptor ON/OFF		X																																						
	Extracción, revisión y limpieza del acoplamiento el mecanismo mezclador		X																																						
	Control del estado de los carbones de desconexión automática		X																																						
	Limpieza general de estructura de la mezcladora		X																																						
	Limpieza del acoplamiento HEXAFIX		X																																						
	Limpieza de las ranuras de ventilación		X																																						
	Limpieza de selector de marchas		X																																						
	Limpieza de timón y soportes de goma		X																																						
	Limpieza de aspas		X																																						
	Lubricación del alojamiento hexagonal del acoplamiento		X																																						
	Inspección de y vibraciones temperatura	X																																							

Tabla 37: Gama de mantenimiento de febrero de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R

Máquina	Actividades	Estado		FEBRERO																																	
		Encendido	Apagado	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes						
				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	26	27	28						
Mezcladora MK 160 Collomix Xo6R	Controlar la sujeción, ajuste y estado de pernos		X																																		
	Control de las instalaciones eléctricas y cableados		X																																		
	Controlar la suavidad de funcionamiento de el interruptor ON/OFF		X																																		
	Extracción, revisión y limpieza del acoplamiento el mecanismo mezclador		X																																		
	Control del estado de los carbones de desconexión automática		X																																		
	Limpieza general de estructura de la mezcladora		X																																		
	Limpieza del acoplamiento HEXAFIX		X																																		
	Limpieza de las ranuras de ventilación		X																																		
	Limpieza de selector de marchas		X																																		
	Limpieza de timón y soportes de goma		X																																		
	Limpieza de aspas		X																																		
	Lubricación del alojamiento hexagonal del acoplamiento		X																																		
	Inspección de vibraciones y temperatura	X																																			

Tabla 38: Gama de mantenimiento de marzo de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R

Máquina	Actividades	Estado	MARZO																											
---------	-------------	--------	-------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

		Encendido	Apagado	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves							
				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	26	27	28	29	30	31							
				Mezcladora MK 160 Collomix Xo6R	Controlar la sujeción, ajuste y estado de pernos	X																																			
Control de las instalaciones eléctricas y cableados	X																																								
Controlar la suavidad de funcionamiento de el interruptor ON/OFF	X																																								
Extracción, revisión y limpieza del acoplamiento el mecanismo mezclador	X																																								
Control del estado de los carbones de desconexión automática	X																																								
Limpieza general de estructura de la mezcladora	X																																								
Limpieza del acoplamiento HEXAFIX	X																																								
Limpieza de las ranuras de ventilación	X																																								
Limpieza de selector de marchas	X																																								
Limpieza de timón y soportes de goma	X																																								
Limpieza de aspas	X																																								
Lubricación del alojamiento hexagonal del acoplamiento	X																																								
Inspección de vibraciones y temperatura	X																																								

Tabla 39: Gama de mantenimiento de abril de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R

Máquina	Actividades	Estado	ABRIL
---------	-------------	--------	--------------

	Encendido	Apagado	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado				
			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	26	27	28	29	30				
Mezcladora MK 160 Collomix Xo6R	Controlar la sujeción, ajuste y estado de pernos	X																																		
	Control de las instalaciones eléctricas y cableados	X																																		
	Controlar la suavidad de funcionamiento de el interruptor ON/OFF	X																																		
	Extracción, revisión y limpieza del acoplamiento el mecanismo mezclador	X																																		
	Control del estado de los carbones de desconexión automática	X																																		
	Limpieza general de estructura de la mezcladora	X																																		
	Limpieza del acoplamiento HEXAFIX	X																																		
	Limpieza de las ranuras de ventilación	X																																		
	Limpieza de selector de marchas	X																																		
	Limpieza de timón y soportes de goma	X																																		
	Limpieza de aspas	X																																		
	Lubricación del alojamiento hexagonal del acoplamiento	X																																		
	Inspección de vibraciones y temperatura	X																																		

Tabla 40: Gama de mantenimiento de mayo de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R

Máquina	Actividades	Estado		MAYO																																	
		Enc	Apa	Do	Lun	Mar	Mié	Juev	Vier	Sáb	Do	Lun	Mar	Mié	Juev	Vier	Sáb	Do	Lun	Mar	Mié	Juev	Vier	Sáb	Do	Lun	Mar	Mié	Juev	Vier	Sáb	Do	Lun	Mar			

				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	26	27	28	29	30	31						
Mezcladora MK 160 Collomix Xo6R	Controlar la sujeción, ajuste y estado de pernos	X																																						
	Control de las instalaciones eléctricas y cableados	X																																						
	Controlar la suavidad de funcionamiento de el interruptor ON/OFF	X																																						
	Extracción, revisión y limpieza del acoplamiento el mecanismo mezclador	X																																						
	Control del estado de los carbones de desconexión automática	X																																						
	Limpieza general de estructura de la mezcladora	X																																						
	Limpieza del acoplamiento HEXAFIX	X																																						
	Limpieza de las ranuras de ventilación	X																																						
	Limpieza de selector de marchas	X																																						
	Limpieza de timón y soportes de goma	X																																						
	Limpieza de aspas	X																																						
	Lubricación del alojamiento hexagonal del acoplamiento	X																																						
	Inspección de vibraciones y temperatura	X																																						

Tabla 41: Gama de mantenimiento de junio de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R

Máquina	Actividades	Estado		JUNIO																																		
		Encendido	Apagado	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves												

				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	26	27	28	29	30				
Mezcladora MK 160 Collomix Xo6R	Controlar la sujeción, ajuste y estado de pernos	X																																			
	Control de las instalaciones eléctricas y cableados	X																																			
	Controlar la suavidad de funcionamiento de el interruptor ON/OFF	X																																			
	Extracción, revisión y limpieza del acoplamiento el mecanismo mezclador	X																																			
	Control del estado de los carbones de desconexión automática	X																																			
	Limpieza general de estructura de la mezcladora	X																																			
	Limpieza del acoplamiento HEXAFIX	X																																			
	Limpieza de las ranuras de ventilación	X																																			
	Limpieza de selector de marchas	X																																			
	Limpieza de timón y soportes de goma	X																																			
	Limpieza de aspas	X																																			
	Lubricación del alojamiento hexagonal del acoplamiento	X																																			
	Inspección de vibraciones y temperatura	X																																			

Tabla 42: Gama de mantenimiento de julio de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R

Máquina	Actividades	Estado		JULIO																																
		Encendido	Apagado	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo									

			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	26	27	28	29	30	31					
Mezcladora MK 160 Collomix Xo6R	Controlar la sujeción, ajuste y estado de pernos	X																																				
	Control de las instalaciones eléctricas y cableados	X																																				
	Controlar la suavidad de funcionamiento de el interruptor ON/OFF	X																																				
	Extracción, revisión y limpieza del acoplamiento el mecanismo mezclador	X																																				
	Control del estado de los carbones de desconexión automática	X																																				
	Limpieza general de estructura de la mezcladora	X																																				
	Limpieza del acoplamiento HEXAFIX	X																																				
	Limpieza de las ranuras de ventilación	X																																				
	Limpieza de selector de marchas	X																																				
	Limpieza de timón y soportes de goma	X																																				
	Limpieza de aspas	X																																				
	Lubricación del alojamiento hexagonal del acoplamiento	X																																				
	Inspección de vibraciones y temperatura	X																																				

Tabla 43: Gama de mantenimiento de agosto de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R

Máquina	Actividades	Estado		AGOSTO																																	
		Encendido	Apagado	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles										



			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	26	27	28	29	30	31				
Mezcladora MK 160 Collomix Xo6R	Controlar la sujeción, ajuste y estado de pernos	X																																			
	Control de las instalaciones eléctricas y cableados	X																																			
	Controlar la suavidad de funcionamiento de el interruptor ON/OFF	X																																			
	Extracción, revisión y limpieza del acoplamiento el mecanismo mezclador	X																																			
	Control del estado de los carbones de desconexión automática	X																																			
	Limpieza general de estructura de la mezcladora	X																																			
	Limpieza del acoplamiento HEXAFIX	X																																			
	Limpieza de las ranuras de ventilación	X																																			
	Limpieza de selector de marchas	X																																			
	Limpieza de timón y soportes de goma	X																																			
	Limpieza de aspas	X																																			
	Lubricación del alojamiento hexagonal del acoplamiento	X																																			
	Inspección de vibraciones y temperatura	X																																			

Tabla 44: Gama de mantenimiento de septiembre de la mezcladora MK 160 Collomix Xo6R

Máquina	Actividades	Estado		SEPTIEMBRE																																
		Encendido	Apagado	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes			
				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	26	27	28	29	30			

3.1.6. Compresor de aire de tornillo

Tabla 48: Ficha Técnica del compresor de aire de tornillo.

Universidad Técnica de Ambato			
Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica			
Carrera de Ingeniería Mecánica			
Máquina	X	Equipo	Herramienta
			
Código	MPE-COM-03-P3-0001-PPE		
Mezcladora de resina			
Características generales		Características técnicas	
Marca	Atlas Copco	Voltaje	220 V
Modelo	API837728	Frecuencia	60 Hz
Año	GA22VSD	Potencia	30 hp
Procedencia	2018	Capacidad	75.1 l/s
Color	Bélgica	Presión efectiva de trabajo	125 psi
Tipo de funcionamiento	Semiautomático	Dimensiones	Largo: 790 mm; Ancho: 1275; mm Alto: 1590mm
Color	Gris/negro	Rpm	5700 rpm
Temperatura	120° en condiciones normales	Peso total	610 kg
Componentes			
Estructura		Ventilador de refrigeración	
Filtro de aire		Regulador	
Compresor		Filtro de aceite	
Motor magnético permanente		Separador de aceite	
Función: Aumentar la presión para entregar el fluido de salida, en este caso aire comprimido.			
Observaciones: El compresor tiene un precio aproximado de \$29,130.			

Especificaciones técnicas:

- Modelo: GA22VSD
- Año: 2018
- Largo: 790 mm
- Ancho: 1275 mm
- Alto: 1590 mm
- Frecuencia: 60 Hz
- Potencia: 30 hp
- Capacidad: 75.1 l/s
- Presión efectiva de trabajo: 125 psi

Condiciones de servicio:

- Temperatura: 120°C en condiciones normales
- Operarios: 1 persona
- Tiempo de funcionamiento: 8 horas diarias
- Tipo de instalación: Trifásico 220 V
- Funcionamiento: Semiautomático

Tabla 49: Componentes del compresor de aire de tornillo

Componente	Descripción
Estructura	Cubre y protege los componentes del compresor de aire.
Filtro de aire	Evita que las partículas de suciedad ingresen a la máquina.
Depósito de aire	Separa la mayor parte de la mezcla de aire comprimido y aceite.
Válvula de entrada	Ingresa aire hacia la máquina.
Compresor	Se encarga de incrementar la presión del aire.
Refrigerador de aire	Reduce la temperatura del aire.
Colector de condensado	Recoge el condensado del refrigerador de aire.
Válvula de presión mínima	Impide que la presión del depósito caiga por debajo de la presión mínima.
Válvula antirretorno	Evita el retroceso del aire comprimido.

Tabla 50: Componentes del compresor de aire de tornillo (continuación).

Componente	Descripción
Válvula de salida	Permite la salida de aire comprimido seco.
Refrigerador de aceite	Reduce la temperatura del aceite.
Purgador de agua electrónico	Drena el condensado cuando este alcanza un nivel determinado a través de la salida de drenaje automático.
Controlador Elektronikon	Controla y protege el compresor, además monitoriza los componentes que se encuentran sujetos a servicio.
Ventilador de refrigeración	Impulsa el aire sobre los refrigeradores, este se desconecta en dependencia de las condiciones de funcionamiento.
Motor magnético permanente	Acciona los compresores de tornillo.
Regulador	Se encarga de reducir o aumentar la velocidad del motor.
Filtro de aceite	Filtra el aceite que se encuentra en el depósito de aire.
Separador de aceite	Elimina el aceite restante que no se pudo separar en el depósito de aire.
Válvula de derivación termostática	Evita que el aceite fluya a través del refrigerador de aceite cuando la temperatura del aceite es baja.
Botón de encendido	Inicia el funcionamiento del compresor de aire.
Botón de parado de emergencia	Detiene el funcionamiento de la máquina de la forma más rápida posible.
Tubería	Envía el aire comprimido hacia los lugares de trabajo.
Cables de conexión	Transmiten la energía eléctrica entre los diferentes componentes.
Elementos de sujeción	Mantienen la unión entre dos o más elementos de la máquina.
Transformador	Varía los valores de tensión en el circuito CA para mantener la potencia.
Disyuntor	Detiene el flujo eléctrico cuando existe una diferencia entre corriente de entrada y salida.
Contacto	Devolver o interrumpir la corriente eléctrica de una carga.
Convertidor de frecuencia	Controla la velocidad del motor con el fin de que la electricidad se acople a la demanda.

Tabla 51: Repuestos disponibles para el compresor de aire de tornillo

Repuestos	Cantidad	Característica
Cables de conexión eléctrica	15	Cable de calibre 12
Válvula antirretorno	1	Tamaño nominal de 3/4"
Filtro de aire	1	Poliéster de alta eficiencia para partículas superiores a 4 µm
Válvula de bola	2	Acero inoxidable 304 con tamaño nominal de 1/2"
Filtro de aceite	1	Rosca de 3/4"X16
Contactador	1	Modelo 100-K de 480V-9A
Accesorios de la tubería de aire	5	Uniones, codos y tubería para el sistema del aire comprimido
Cables de conexión eléctrica	15	Cable de calibre 12

Instrucciones de funcionamiento

- Encender el compresor y revisar el estado en su panel de control.
- Abrir la válvula de salida de aire.
- Conectar el equipo al voltaje y comprobar que el LED de voltaje conectado se encienda.
- Pulsar el botón de arranque en el panel de control. Cuando se ilumina el LED de funcionamiento automático el compresor se pone en marcha.
- En el funcionamiento automático, el regulador controla automáticamente al compresor en los procesos de carga, descarga, parada y re arranque de motores.
- Pulsar el botón de parada para detener el funcionamiento automático y detener el compresor.
- Cerrar la válvula de salida de aire.
- Pulsar el botón encima del purgador de agua electrónico para despresurizar la tubería entre el depósito de aire y la válvula de salida.
- Abrir la válvula de drenaje manual.

Normas de seguridad

- El compresor no es apto para generar aire de calidad para respirar, esto significa que el aire comprimido se debe purificar.
- Previo al inicio de cualquier trabajo de reparación, ajuste, mantenimiento o comprobación no rutinaria. Parar el compresor, pulsar el botón de paro de emergencia, desconectar el volteje y despresurizar el compresor. Finalmente abrir y bloquear el seccionador.
- No dirija chorros de aire comprimido hacia otras personas. Cuando este sea utilizado para limpiar cualquier equipo, manejar con mucho cuidado y utilizar equipo de protección para los ojos.
- Evitar el funcionamiento de la maquina en espacios donde exista humos, vapores o partículas inflamables o tóxicas.
- Evitar tocar la tubería o componentes de la máquina cuando esta se encuentre funcionando.
- Mantener cerradas todas las puertas de la carrocería durante el funcionamiento de la máquina. Estas se deben abrir únicamente para efectuar inspecciones rutinarias, en ese caso es necesario utilizar protectores auditivos.

Instrucciones de mantenimiento

Los detalles de actividades preventivas de cuidados y mantenimientos del compresor de aire de tornillo de la empresa VARMA S.A. están basadas en acciones de prevención y limpieza con la finalidad de alargar la vida útil de sus componentes y elementos, mismas actividades que deben desarrollarse rutinaria o periódicamente.

Dentro de las actividades rutinarias de mantenimiento y de control general se encuentran principalmente aspectos de limpieza de la maquinaria y mecanismos inmediatamente después de terminar su uso cotidiano. A continuación, se presentan actividades de mantenimiento, limpieza y lubricación para el compresor de aire de tornillo.

Tabla 52: Frecuencia y actividades de mantenimiento y limpieza del compresor de aire de tornillo de Varma S.A.

Mantenimiento						
Actividad	Diario	Semanal	Quincenal	Mensual	Semestral	Anual
Revisión de arandelas, pernos, juntas y otros elementos de sujeción				x		
Revisión del nivel de aceite	x					
Revisión de descarga del condensado	x					
Control de accionamiento del botón del purgador de agua electrónico				x		
Reemplazo del cartucho del filtro de aire y filtro de aceite						x
Revisión de conexiones (mangueras, juntas, acoples)				x		
Revisión de lecturas de presión y temperatura	x					
Control de funcionamiento de los ventiladores		x				
Control de funcionamiento de válvulas						x
Limpieza						
Limpieza general de la estructura del compresor de aire de tornillo					x	
Limpieza del refrigerador de aire y de aceite				x		
Limpieza de los ventiladores				x		
Lubricación						
Cambio de aceite						x

Estadístico de mantenimiento anual

Tabla 53: Estadístico de mantenimiento anual del compresor de aire de tornillo Atlas Copco GA22VSD

Máquina	Compresor de aire de tornillo										
Horas de Trabajo	8 horas diarias										
Mes	Actividad	Fecha	TO (h)	TR (h)	TM (h)	TP(h)	MTBF (h)	λ	MTTR (h)	μ	D (%)
Enero	Inicio de actividades laborales (nuevo año)	2/1/2020					43,67	0,0229	0,10	10,0	0,9977
	Limpieza general de la estructura	7/1/2020	41	0,1	0,1	0,2					
	Reemplazo del cartucho del filtro de aire y filtro de aceite	14/1/2020	53	0,1	0,2	0,3					
	Control de accionamiento del botón del purgador de agua electrónico	21/1/2020	37	0,1	0,1	0,2					
Febrero	Revisión de lecturas de presión y temperatura	4/2/2020	22	0,1	0,1	0,2	31,75	0,0315	0,13	8,0	0,9961
	Revisión de conexiones (mangueras, juntas, acoples)	11/2/2020	26	0,2	0,1	0,3					
	Revisión de descarga del condensado	17/2/2020	50	0,1	0,2	0,3					

Tabla 53: Estadístico de mantenimiento anual del compresor de aire de tornillo Atlas Copco GA22VSD (continuación)

	Limpieza del refrigerador de aire y de aceite	24/2/2020	29	0,1	0,1	0,2					
Marzo	Control de funcionamiento de los ventiladores	2/3/2020	26	0,1	0,1	0,2	30,50	0,0328	0,13	8,0	0,9959
	Revisión de arandelas, pernos, juntas y otros elementos de sujeción	9/3/2020	18	0,1	0,1	0,2					
	Control de accionamiento del botón del purgador de agua electrónico	16/3/2020	48	0,1	0,2	0,3					
	Revisión de lecturas de presión y temperatura	23/3/2020	30	0,2	0,2	0,4					
Abril	Revisión del nivel de aceite	1/4/2020	38	0,1	0,2	0,3	36,00	0,0278	0,10	10	0,9972
	Revisión de descarga del condensado	6/4/2020	29	0,1	0,1	0,2					
	Limpieza de los ventiladores	13/4/2020	50	0,1	0,1	0,2					
	Revisión del nivel de aceite	27/4/2020	27	0,1	0,1	0,2					
Mayo	Limpieza del refrigerador de aire y de aceite	4/5/2020	23	0,2	0,1	0,3	34,75	0,0288	0,15	6,67	0,9957

Tabla 53: Estadístico de mantenimiento anual del compresor de aire de tornillo Atlas Copco GA22VSD (continuación)

	Revisión de arandelas, pernos, juntas y otros elementos de sujeción	11/5/2020	47	0,2	0,2	0,4					
	Revisión de conexiones (mangueras, juntas, acoples)	18/5/2020	31	0,1	0,1	0,2					
	Control de accionamiento del botón del purgador de agua electrónico	25/5/2020	38	0,1	0,1	0,2					
Junio	Control de funcionamiento de válvulas	1/6/2020	52	0,1	0,2	0,3	37	0,0270	0,1333	7,50	0,9964
	Revisión de lecturas de presión y temperatura	15/6/2020	33	0,1	0,1	0,2					
	Revisión de arandelas, pernos, juntas y otros elementos de sujeción	26/6/2020	26	0,2	0,2	0,4					
Julio	Limpieza general de la estructura del compresor	6/7/2020	30	0,1	0,1	0,2	34,5	0,0290	0,1	10	0,9971
	Revisión de conexiones (mangueras, juntas, acoples)	20/7/2020	39	0,1	0,1	0,2					
Agosto	Limpieza de los ventiladores	3/8/2020	56	0,1	0,1	0,2	40,67	0,0246	0,13	7,50	0,9967
	Control de funcionamiento de los ventiladores	10/8/2020	36	0,2	0,2	0,4					
	Revisión de descarga del condensado	17/8/2020	30	0,1	0,2	0,3					

Tabla 53: Estadístico de mantenimiento anual del compresor de aire de tornillo Atlas Copco GA22VSD (continuación)

Septiembre	Limpieza del refrigerador de aire y de aceite	7/9/2020	29	0,1	0,2	0,3	31	0,0323	0,1	10	0,9968
	Revisión del nivel de aceite	21/9/2020	33	0,1	0,1	0,2					
Octubre	Revisión de arandelas, pernos, juntas y otros elementos de sujeción	5/10/2020	53	0,1	0,1	0,2	42,5	0,0235	0,15	6,67	0,9965
	Revisión de conexiones (mangueras, juntas, acoples)	19/10/2020	32	0,2	0,1	0,3					
Noviembre	Revisión de descarga del condensado	2/11/2020	40	0,1	0,1	0,2	35,5	0,0282	0,1	10	0,9972
	Control de accionamiento del botón del purgador de agua electrónico	16/11/2020	31	0,1	0,1	0,2					
Diciembre	Revisión del nivel de aceite	7/12/2020	43	0,1	0,1	0,2	36,0	0,0278	0,1333	7,50	0,9963
	Limpieza de los ventiladores	14/12/2020	32	0,2	0,2	0,4					
	Cambio de aceite	21/12/2020	33	0,1	0,1	0,2					

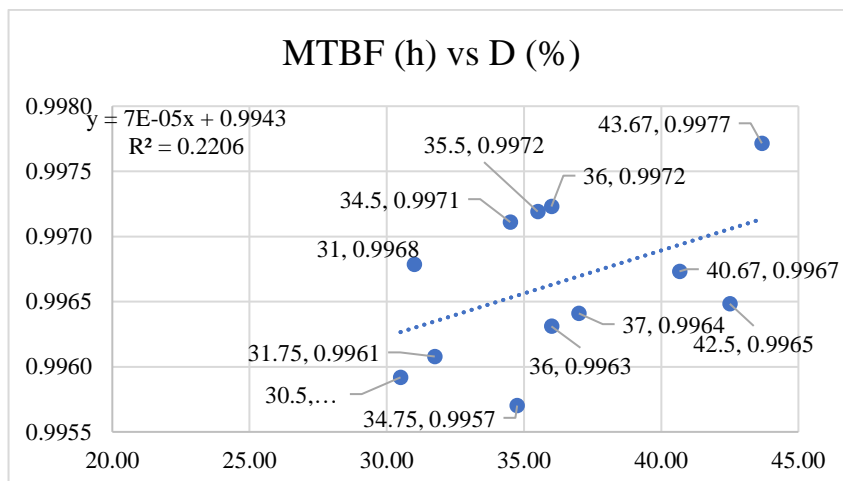


Figura 26: Gráfica de MTBF (h) vs D (%) del compresor de aire de tornillo.

En la figura 26 presenta el punto de máxima disponibilidad con un valor de 0,9977=99,77% correspondiente un tiempo de buen funcionamiento de 43,67 horas semanales y la mínima disponibilidad es de 0,9957=99,57% correspondiente un tiempo de buen funcionamiento de 30,5 horas semanales, debido a que los datos se encuentran dispersos los valores del coeficiente de determinación no rondan la unidad $R^2 = 0.00206$.

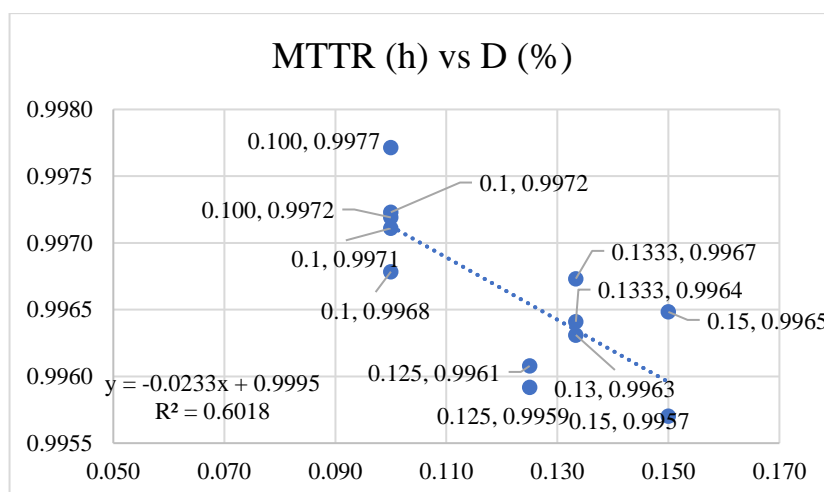


Figura 27: Gráfica de MTTR (h) vs D (%) del compresor de aire de tornillo.

En la figura 27 presenta el punto de máxima disponibilidad con un valor de 0,9977=99,77% correspondiente para tiempo de reparación de 0,1 horas semanales y la mínima disponibilidad es de 0,9968=99,68% correspondiente para un tiempo reparación de 0,15 horas semanales, existe una relación de los datos encontrados ya que los valores del coeficiente de determinación rondan la unidad $R^2 = 0,6018$

Matriz AMFE

Tabla 54: Matriz AMFE del compresor de aire de tornillo.

Matriz de criterios ponderados AMFE											
Máquina:	Compresor de aire de tornillo		Marca:	Atlas Copco		Fecha realización:	10/12/2021			Hoja N°:	1
Área:	Área de Fibra		Modelo:	GA22VSD		Fecha revisión:				De:	1
N°	Descripción del componente	Función del componente	Falla funcional	Modo de fallo	Causa Raíz	Efecto	Valoración				Recomendación
							G	F	D	IPR	
1	Estructura	Cubrir y proteger los componentes del compresor de aire.	Oxidación de metales	Desgaste	Reacción de los metales con el aire	Pérdida de propiedades del material del compresor.	3	3	2	18	Aplicar pintura antioxidante en las partes afectadas.
2	Filtro de aire	Evitar que las partículas de suciedad ingresen a la máquina.	Obstrucción del paso normal del aire	Obstrucción	Exceso de partículas e impurezas atrapadas	Deficiente caudal de aire en tuberías.	5	5	2	50	Realizar la limpieza periódica el filtro de aire.
3	Depósito de aire	Separar la mayor parte de aceite de la mezcla de aire comprimido y aceite por acción centrifuga.	Corrosión	Desgaste	Acumulación de condensado en el depósito.	Pérdida de propiedades del material depósito	4	4	4	64	Despresurizar el depósito de aire con mayor frecuencia.

Tabla 54: Matriz AMFE del compresor de aire de tornillo (continuación).

Nº	Descripción del componente	Función del componente	Falla funcional	Modo de fallo	Causa Raíz	Efecto	G	F	D	IPR	Recomendación
4	Válvula de entrada	Ingresar aire hacia la máquina.	Daño del mecanismo de apertura y cierre	Avería	Desgaste causado por el funcionamiento cotidiano	Paro operacional	4	2	2	16	Supervisar constantemente el mecanismo de la válvula.
5	Compresor	Incrementar la presión del aire.	Salida de aire o presión inferior a lo normal	Avería	Desgaste causado por el funcionamiento cotidiano	Paro operacional	7	4	4	112	Supervisar constantemente los elementos que se involucran en el funcionamiento del compresor
6	Refrigerador de aire	Reducir la temperatura del aire.	Aumento de temperatura del aire comprimido.	Obstrucción	Exceso de partículas e impurezas atrapadas	Paro operacional	6	3	4	72	Limpiar constantemente el refrigerador de aire y sus ventiladores.
7	Colector de condensado	Recoger el condensado del refrigerador de aire.	Corrosión	Desgaste	Acumulación de condensado.	Perdida de propiedades del material del colector.	5	5	4	100	Evitar que se quede condensado en este componente.

Tabla 54: Matriz AMFE del compresor de aire de tornillo (continuación).

Nº	Descripción del componente	Función del componente	Falla funcional	Modo de fallo	Causa Raíz	Efecto	G	F	D	IPR	Recomendación
8	Válvula de presión mínima	Impedir que la presión del depósito caiga por debajo de la presión mínima.	Presión de aire por debajo del mínimo.	Desgaste	Desgaste propio del funcionamiento cotidiano.	Paro operacional	7	3	3	63	Supervisar que la presión se encuentre dentro de los límites de trabajo.
9	Válvula antirretorno	Evitar el retroceso del aire comprimido.	El compresor no se detiene y arranca continuamente.	Avería/Rotura	Rotura de tubería por exceso de presión	Fallo del compresor	5	3	3	45	Reemplazar en caso de avería y comprobar el estado de la tubería.
10	Válvula de salida	Permitir la salida de aire comprimido seco.	Daño del mecanismo de apertura y cierre	Avería	Desgaste causado por el funcionamiento cotidiano	Paro operacional	3	2	2	12	Supervisar constantemente el mecanismo de la válvula.
11	Refrigerador de aceite	Reducir la temperatura del aceite.	Aumento de temperatura del aceite.	Obstrucción	Exceso de partículas e impurezas atrapadas	Recalentamiento general del sistema.	6	2	4	48	Limpiar constantemente el refrigerador de aceite y sus ventiladores.

Tabla 54: Matriz AMFE del compresor de aire de tornillo (continuación).

Nº	Descripción del componente	Función del componente	Falla funcional	Modo de fallo	Causa Raíz	Efecto	G	F	D	IPR	Recomendación
12	Purgador de agua electrónico	Drenar el condensado cuando este alcanza un nivel determinado a través de la salida de drenaje automático.	Condensado no se elimina del sistema	Obstrucción	Sistema de drenaje electrónico obstruido.	Condensado se almacena y provoca averías en el sistema de drenaje	3	3	4	36	Revisar que el sistema de drenaje elimine regularmente el condensado.
13	Controlador Electronikon	Controlar y proteger el compresor, además monitoriza los componentes que se encuentran sujetos a servicio.	Desconfiguración del dispositivo	Descalibración	Manipulación incorrecta o fallo del suministro eléctrico	Paro operacional	8	2	3	48	Capacitar al operario para que realice una adecuada utilización del equipo.
14	Ventilador de refrigeración	Impulsar el aire sobre los refrigeradores, este se desconecta en dependencia de las condiciones de funcionamiento.	Rotura de aspas	Rotura	Funcionamiento cotidiano o incrustación de partículas	Recalentamiento general de la máquina	5	4	3	60	Limpiar constantemente el refrigerador de aire y sus ventiladores.

Tabla 54: Matriz AMFE del compresor de aire de tornillo (continuación).

N°	Descripción del componente	Función del componente	Falla funcional	Modo de fallo	Causa Raíz	Efecto	G	F	D	IPR	Recomendación
15	Motor magnético permanente	Accionar los compresores de tornillo.	El compresor no arranca.	Sobrecarga	Sobrecalentamiento de los bobinados	Paro operacional	8	3	4	96	Operar el motor en la potencia nominal recomendada por el fabricante
16	Regulador	Reducir o aumentar la velocidad del motor.	Descontrolado aumento o disminución de presión.	Descalibración	Desconfiguración del sistema de regulación o manipulación incorrecta.	Tuberías o componentes averiados	7	3	5	105	Capacitar al operario para que realice una adecuada utilización del equipo.
17	Filtro de aceite	Filtrar el aceite que se encuentra en el depósito de aire.	Obstrucción del paso normal del aceite	Obstrucción	Exceso de partículas e impurezas atrapadas	Aceite con partículas	4	5	4	80	Revisar y de ser necesario reemplazar el filtro de aceite
18	Separador de aceite	Eliminar el aceite restante que no se pudo separar en el depósito de aire.	Separación insuficiente de aire y aceite	Avería	Desgaste propio del funcionamiento cotidiano.	Aire comprimido contaminado.	3	3	6	54	Comprobar la calidad del aire comprimido a la salida de la máquina.

Tabla 54: Matriz AMFE del compresor de aire de tornillo (continuación).

Nº	Descripción del componente	Función del componente	Falla funcional	Modo de fallo	Causa Raíz	Efecto	G	F	D	IPR	Recomendación
19	Válvula de derivación termostática	Evitar que el aceite fluya a través del refrigerador de aceite cuando la temperatura del aceite es baja.	Desgaste prematuro de componentes del compresor	Avería	Temperatura del aceite demasiado baja	Paro operacional	4	3	6	72	Revisar que la temperatura del aceite se encuentre dentro de los rangos recomendados.
20	Botón de encendido	Iniciar el funcionamiento del compresor de aire.	Rotura o desgaste del pulsador.	Rotura/Desgaste	Manipulación incorrecta y uso cotidiano	Paro operacional	5	2	2	20	Revisar que el movimiento del pulsador, si es deficiente, reemplazar el componente.
21	Botón de parada de emergencia	Detener el funcionamiento de la máquina de la forma más rápida posible.	Atascamiento del pulsador	Obstrucción	Exceso de impurezas por falta de manipulación	Paro operacional	3	2	2	12	Revisar que el movimiento del pulsador, si es deficiente, reemplazar el componente.
22	Tubería	Enviar el aire comprimido hacia los lugares de trabajo.	Rotura y fuga de aire a lo largo de la tubería	Rotura	Uso cotidiano o aumentos repentinos de presión	Pérdida de presión a la salida y exceso de carga para el compresor.	5	5	3	75	Revisar las lecturas de presión y en caso de anomalías revisar y reparar la tubería.

Tabla 54: Matriz AMFE del compresor de aire de tornillo (continuación).

N°	Descripción del componente	Función del componente	Falla funcional	Modo de fallo	Causa Raíz	Efecto	G	F	D	IPR	Recomendación
23	Cables de conexión	Transmitir la energía eléctrica entre los diferentes componentes.	Rotura del cableado	Rotura	Cortocircuito	Paro operacional	3	4	5	60	Supervisar y limpiar constantemente los cableados y evitar exposición a medios externos que supongan un riesgo a su funcionalidad.
24	Elementos de sujeción	Mantener la unión entre dos o más elementos de la máquina.	Oxidación de metales (pernos, tuercas, arandelas, etc)	Desgaste	Reacción de los metales con el aire	Pérdida de propiedades de los materiales	2	4	4	32	Supervisar constantemente las uniones (retirar el óxido y aplicar pintura antioxidante)
25	Transformador	Variar los valores de tensión en el circuito CA para mantener la potencia.	Alimentación eléctrica ineficiente.	Avería	Estrés térmico del sistema eléctrico	Baja calidad del suministro eléctrico.	6	3	5	90	Revisar los componentes del armario eléctrico luego de un fallo del suministro eléctrico.
26	Disyuntor	Detener el flujo eléctrico cuando existe una diferencia entre corriente de entrada y salida.	Salto sin sentido	Avería	Desgaste causado por el funcionamiento cotidiano	Baja calidad del suministro eléctrico.	4	4	6	96	Revisar los componentes del armario eléctrico luego de un fallo del suministro eléctrico.

Tabla 54: Matriz AMFE del compresor de aire de tornillo (continuación).

N°	Descripción del componente	Función del componente	Falla funcional	Modo de fallo	Causa Raíz	Efecto	G	F	D	IPR	Recomendación
27	Contactador	Devolver o interrumpir la corriente eléctrica de una carga.	Alimentación sin corriente eléctrica	Desgaste	El contacto no cierra producto del desgaste por funcionamiento cotidiano.	Paro operacional	4	5	6	120	Revisar los componentes del armario eléctrico luego de un fallo del suministro eléctrico.
29	Convertidor de frecuencia	Controlar la velocidad del motor con el fin de que la electricidad se acople a la demanda.	Sobretensión en el circuito eléctrico	Avería	Fallo del suministro eléctrico.	Paro operacional	7	2	8	112	Revisar los componentes del armario eléctrico luego de un fallo del suministro eléctrico.
Promedio										63,14	

Análisis de criticidad

Tabla 55: Cálculo de Criticidad del Compresor de aire de tornillo


						Universidad Técnica de Ambato			Estado de criticidad
						Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica			
						Carrera de Ingeniería Mecánica			
Compresor de aire de tornillo		Código:	MPE-COM-03-P3-0001-PPE	MATRIZ DE CRITICIDAD		CÁLCULO DE CRITICIDAD CON FORMULA			
		Registro N°	01	HOJA N°	01 DE 01	FFF	CONSECUENCIA	CRITICIDAD	
N°	ELEMENTOS	IP	FO	CM	SAH	FFF	CONSECUENCIA	CRITICIDAD	Estado de criticidad
1	Estructura	5	2	1	0	1	11	6	NC
2	Filtro de aire	1	2	4	0	2	6	12	NC
3	Depósito de aire	10	4	4	1	1	45	45	SC
4	Válvula de entrada	8	4	4	1	1	37	37	SC
5	Compresor	8	2	4	2	1	22	22	NC
6	Refrigerador de aire	5	2	4	1	1	15	15	NC
7	Colector de condensado	5	2	1	0	1	11	11	NC
8	Válvula de presión mínima	5	4	1	1	1	22	22	NC
9	Válvula antirretorno	5	2	4	1	1	15	15	NC
10	Válvula de salida	5	2	1	1	1	11	11	NC
11	Refrigerador de aceite	8	2	4	0	1	20	20	NC
12	Purgador de agua electrónico	5	4	4	0	1	24	24	SC
13	Controlador Electronikon	10	4	7	2	1	49	49	C
14	Ventilador de refrigeración	8	2	4	1	1	21	21	C
15	Motor magnético permanente	10	4	4	1	1	45	45	C
16	Regulador	8	4	4	0	1	36	36	SC
17	Filtro de aceite	5	2	1	0	2	11	22	NC
18	Separador de aceite	5	2	1	0	1	11	11	NC

Tabla 55: Cálculo de Criticidad del Compresor de aire de tornillo (continuación).

N°	ELEMENTOS	IP	FO	CM	SAH	FFF	CONSECUENCIA	CRITICIDAD	E/C
19	Válvula de derivación termostática	5	4	1	0	1	21	21	NC
20	Botón de encendido	5	2	1	1	1	12	12	NC
21	Botón de paro de emergencia	5	2	1	2	1	13	13	NC
22	Tubería	5	1	1	1	2	7	14	NC
23	Cables de conexión	5	1	1	2	1	8	8	NC
24	Elementos de sujeción	5	1	1	1	1	7	7	NC
25	Transformador	8	2	4	2	1	22	22	NC
26	Disyuntor	5	4	4	0	1	24	24	SC
27	Contacto	5	4	4	0	1	24	24	SC
28	Convertidor de frecuencia	5	4	10	1	1	31	31	SC
PROMEDIO DE CRITICIDAD						1,1	20,7	21,4	
NOMBRE:				FECHA:					
REALIZÓ:	Steven Vargas								
VERIFICÓ:	Ing. Mg Christian Castro								
VALIDÓ:	Ing. Mg Christian Castro								

Tabla 56: Matriz de criticidad del Compresor de aire de tornillo

FRECUENCIAS DE FALLAS	4					
	3	Filtro de aire	Filtro de aceite Tubería			
	2	Estructura Colector de condensado Válvula de salida Separador de aceite	Válvula de derivación termostática Botón de paro de emergencia Tubería Elementos de sujeción	Purgador de agua electrónico Disyuntor Contacto	Depósito de aire Válvula de entrada	Controlador Electronikon Motor magnético permanente Ventilador de refrigeración
	1	Botón de encendido Cables de conexión	Transformador Refrigerador de aire Válvula de presión mínima Válvula antirretorno Refrigerador de aceite Compresor	Convertidor de frecuencia Regulador		
		1 a 12	13 a 24	24 a 36	37 a 48	49 a 60
		CONSECUENCIA				

Modelo matemático del compresor de aire de tornillo

Tabla 57: Datos estadísticos del compresor de aire de tornillo

Actividad	Nº de falla	TO (h)	ln (To)
1	1	41	3,7136
2	1	53	3,9703
3	1	37	3,6109
4	1	22	3,0910
5	1	26	3,2581
6	1	50	3,9120
7	1	29	3,3673
8	1	26	3,2581
9	1	18	2,8904
10	1	48	3,8712
11	1	30	3,4012
12	1	38	3,6376
13	1	29	3,3673
14	1	50	3,9120
15	1	27	3,2958
16	1	23	3,1355
17	1	47	3,8501
18	1	31	3,4340
19	1	38	3,6376
20	1	52	3,9512
21	1	33	3,4965
22	1	26	3,2581
23	1	30	3,4012
24	1	39	3,6636
25	1	56	4,0254
26	1	36	3,5835
27	1	30	3,4012
28	1	29	3,3673
29	1	33	3,4965
30	1	53	3,9703
31	1	32	3,4657
32	1	40	3,6889
33	1	31	3,4340
34	1	43	3,7612
35	1	32	3,4657
36	1	33	3,4965
Total	36		127,54

Tabla 58: Datos calculados para obtener el valor de la varianza del compresor de aire de tornillo.

Actividad	N° de falla	TO (h)	$\ln(To)$	$(\ln(To) - \bar{x})^2$
1	1	41	3,7136	0,0292
2	1	53	3,9703	0,1827
3	1	37	3,6109	0,0046
4	1	22	3,0910	0,2041
5	1	26	3,2581	0,0811
6	1	50	3,9120	0,1363
7	1	29	3,3673	0,0308
8	1	26	3,2581	0,0811
9	1	18	2,8904	0,4257
10	1	48	3,8712	0,1078
11	1	30	3,4012	0,0201
12	1	38	3,6376	0,0090
13	1	29	3,3673	0,0308
14	1	50	3,9120	0,1363
15	1	27	3,2958	0,0610
16	1	23	3,1355	0,1659
17	1	47	3,8501	0,0945
18	1	31	3,4340	0,0118
19	1	38	3,6376	0,0090
20	1	52	3,9512	0,1668
21	1	33	3,4965	0,0021
22	1	26	3,2581	0,0811
23	1	30	3,4012	0,0201
24	1	39	3,6636	0,0146
25	1	56	4,0254	0,2329
26	1	36	3,5835	0,0017
27	1	30	3,4012	0,0201
28	1	29	3,3673	0,0308
29	1	33	3,4965	0,0021
30	1	53	3,9703	0,1827
31	1	32	3,4657	0,0059
32	1	40	3,6889	0,0213
33	1	31	3,4340	0,0118
34	1	43	3,7612	0,0477
35	1	32	3,4657	0,0059
36	1	33	3,4965	0,0021
Total	36		127,54	2,6715

Tabla 59: Datos calculados en base a estadísticos del compresor de aire de tornillo.

Parámetros calculados	
<i>Media</i> (\bar{x})	3,5428
<i>Varianza</i> (S^2)	0,0763
<i>Desviación</i> (S)	0,2763
<i>Parámetro de forma</i> (β)	4,6422
<i>Parámetro de escala</i> (α)	39,1398
<i>Parámetro de localización</i> (γ)	0

Tabla 60: Cálculos de fiabilidad e in fiabilidad del compresor de tornillo.

Actividad	N° de falla	TO (h)	$\ln(To)$	$(\ln(To) - \bar{x})^2$	$R(t)$	$R(t)\%$	$F(t)$	$F(t)\%$
1	1	41	3,7136	0,0292	0,3642	36,4200	0,6358	63,5800
2	1	53	3,9703	0,1827	0,3439	34,3873	0,6561	65,6127
3	1	37	3,6109	0,0046	0,3723	37,2335	0,6277	62,7665
4	1	22	3,0910	0,2041	0,4134	41,3420	0,5866	58,6580
5	1	26	3,2581	0,0811	0,4003	40,0254	0,5997	59,9746
6	1	50	3,9120	0,1363	0,3485	34,8482	0,6515	65,1518
7	1	29	3,3673	0,0308	0,3916	39,1625	0,6084	60,8375
8	1	26	3,2581	0,0811	0,4003	40,0254	0,5997	59,9746
9	1	18	2,8904	0,4257	0,4292	42,9161	0,5708	57,0839
10	1	48	3,8712	0,1078	0,3517	35,1714	0,6483	64,8286
11	1	30	3,4012	0,0201	0,3889	38,8943	0,6111	61,1057
12	1	38	3,6376	0,0090	0,3702	37,0221	0,6298	62,9779
13	1	29	3,3673	0,0308	0,3916	39,1625	0,6084	60,8375
14	1	50	3,9120	0,1363	0,3485	34,8482	0,6515	65,1518
15	1	27	3,2958	0,0610	0,3973	39,7273	0,6027	60,2727
16	1	23	3,1355	0,1659	0,4099	40,9921	0,5901	59,0079
17	1	47	3,8501	0,0945	0,3534	35,3380	0,6466	64,6620
18	1	31	3,4340	0,0118	0,3863	38,6348	0,6137	61,3652
19	1	38	3,6376	0,0090	0,3702	37,0221	0,6298	62,9779
20	1	52	3,9512	0,1668	0,3454	34,5379	0,6546	65,4621
21	1	33	3,4965	0,0021	0,3814	38,1398	0,6186	61,8602
22	1	26	3,2581	0,0811	0,4003	40,0254	0,5997	59,9746

Tabla 61: Cálculos de fiabilidad e in fiabilidad del compresor de tornillo (continuación).

23	1	30	3,4012	0,0201	0,3889	38,8943	0,6111	61,1057
24	1	39	3,6636	0,0146	0,3682	36,8163	0,6318	63,1837
25	1	56	4,0254	0,2329	0,3395	33,9521	0,6605	66,0479
26	1	36	3,5835	0,0017	0,3745	37,4506	0,6255	62,5494
27	1	30	3,4012	0,0201	0,3889	38,8943	0,6111	61,1057
28	1	29	3,3673	0,0308	0,3916	39,1625	0,6084	60,8375
29	1	33	3,4965	0,0021	0,3814	38,1398	0,6186	61,8602
30	1	53	3,9703	0,1827	0,3439	34,3873	0,6561	65,6127
31	1	32	3,4657	0,0059	0,3838	38,3835	0,6162	61,6165
32	1	40	3,6889	0,0213	0,3662	36,6157	0,6338	63,3843
33	1	31	3,4340	0,0118	0,3863	38,6348	0,6137	61,3652
34	1	43	3,7612	0,0477	0,3604	36,0426	0,6396	63,9574
35	1	32	3,4657	0,0059	0,3838	38,3835	0,6162	61,6165
36	1	33	3,4965	0,0021	0,3814	38,1398	0,6186	61,8602

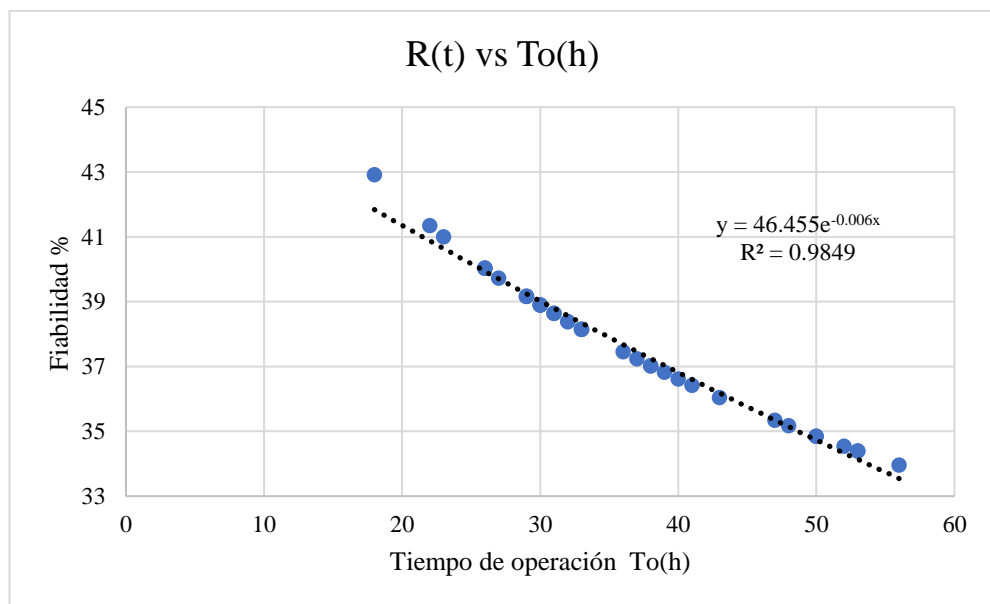


Figura 28: Gráfica de fiabilidad R(t) vs tiempo de operación To del compresor de aire de tornillo.

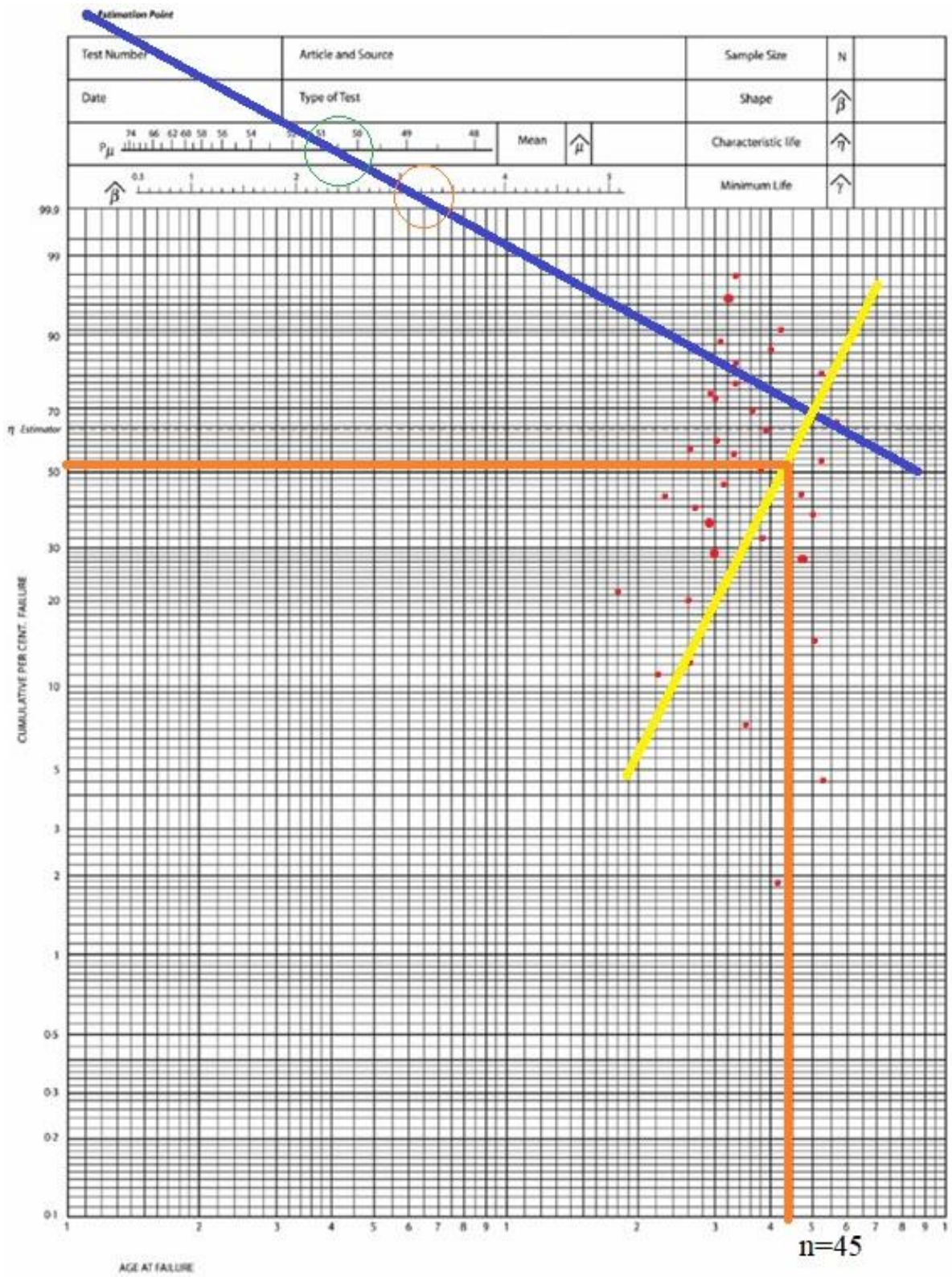
Modelo gráfico de Weibull del cuarto de secado

$$F(i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4}$$

Tabla 62: Datos del porcentaje de falla acumulativa $F(i)$ del compresor de aire de tornillo.

Número de fallas (i)	T_o (h)	Rango medio	Porcentaje de fallas acumulativas F_i (%)
1	41	0,0192	1,9231
2	53	0,0467	4,6703
3	37	0,0742	7,4176
4	22	0,1016	10,1648
5	26	0,1291	12,9121
6	50	0,1566	15,6593
7	29	0,1841	18,4066
8	26	0,2115	21,1538
9	18	0,2390	23,9011
10	48	0,2665	26,6484
11	30	0,2940	29,3956
12	38	0,3214	32,1429
13	29	0,3489	34,8901
14	50	0,3764	37,6374
15	27	0,4038	40,3846
16	23	0,4313	43,1319
17	47	0,4588	45,8791
18	31	0,4863	48,6264
19	38	0,5137	51,3736
20	52	0,5412	54,1209
21	33	0,5687	56,8681
22	26	0,5962	59,6154
23	30	0,6236	62,3626
24	39	0,6511	65,1099
25	56	0,6786	67,8571
26	36	0,7060	70,6044
27	30	0,7335	73,3516
28	29	0,7610	76,0989
29	33	0,7885	78,8462
30	53	0,8159	81,5934
31	32	0,8434	84,3407
32	40	0,8709	87,0879
33	31	0,8984	89,8352
34	43	0,9258	92,5824
35	32	0,9533	95,3297
36	33	0,9808	98,0769

Figura 29: Papel de Weibull para el compresor de aire de tornillo.



Mediante el método gráfico se estiman los siguientes valores.

Tabla 63: Parámetros del compresor de aire de tornillo.

P_u	51
β	3,2
n	45

Tabla 64: Cálculo de la fiabilidad del compresor de aire de tornillo mediante el método gráfico de Weibull.

Número de fallas (i)	T_o (h)	Rango medio	Porcentaje de fallas acumulativas F_i (%)	$R(t)$	$R(t)\%$
1	41	0,0192	1,9231	0,4760	47,5978
2	53	0,0467	4,6703	0,1849	18,4867
3	37	0,0742	7,4176	0,5859	58,5949
4	22	0,1016	10,1648	0,9037	90,3691
5	26	0,1291	12,9121	0,8413	84,1275
6	50	0,1566	15,6593	0,2464	24,6362
7	29	0,1841	18,4066	0,7826	78,2604
8	26	0,2115	21,1538	0,8413	84,1275
9	18	0,2390	23,9011	0,9481	94,8111
10	48	0,2665	26,6484	0,2925	29,2469
11	30	0,2940	29,3956	0,7609	76,0928
12	38	0,3214	32,1429	0,5587	55,8701
13	29	0,3489	34,8901	0,7826	78,2604
14	50	0,3764	37,6374	0,2464	24,6362
15	27	0,4038	40,3846	0,8228	82,2816
16	23	0,4313	43,1319	0,8898	88,9809
17	47	0,4588	45,8791	0,3169	31,6859
18	31	0,4863	48,6264	0,7383	73,8272
19	38	0,5137	51,3736	0,5587	55,8701
20	52	0,5412	54,1209	0,2043	20,4274

Tabla 64: Cálculo de la fiabilidad del compresor de aire de tornillo mediante el método gráfico de Weibull (continuación).

Número de fallas (i)	T_o (h)	Rango medio	Porcentaje de fallas acumulativas F_i (%)	$R(t)$	$R(t)\%$
21	33	0,5687	56,8681	0,6903	69,0285
22	26	0,5962	59,6154	0,8413	84,1275
23	30	0,6236	62,3626	0,7609	76,0928
24	39	0,6511	65,1099	0,5312	53,1211
25	56	0,6786	67,8571	0,1335	13,3539
26	36	0,7060	70,6044	0,6128	61,2839
27	30	0,7335	73,3516	0,7609	76,0928
28	29	0,7610	76,0989	0,7826	78,2604
29	33	0,7885	78,8462	0,6903	69,0285
30	53	0,8159	81,5934	0,1849	18,4867
31	32	0,8434	84,3407	0,7147	71,4700
32	40	0,8709	87,0879	0,5036	50,3596
33	31	0,8984	89,8352	0,7383	73,8272
34	43	0,9258	92,5824	0,4212	42,1217
35	32	0,9533	95,3297	0,7147	71,4700
36	33	0,9808	98,0769	0,6903	69,0285

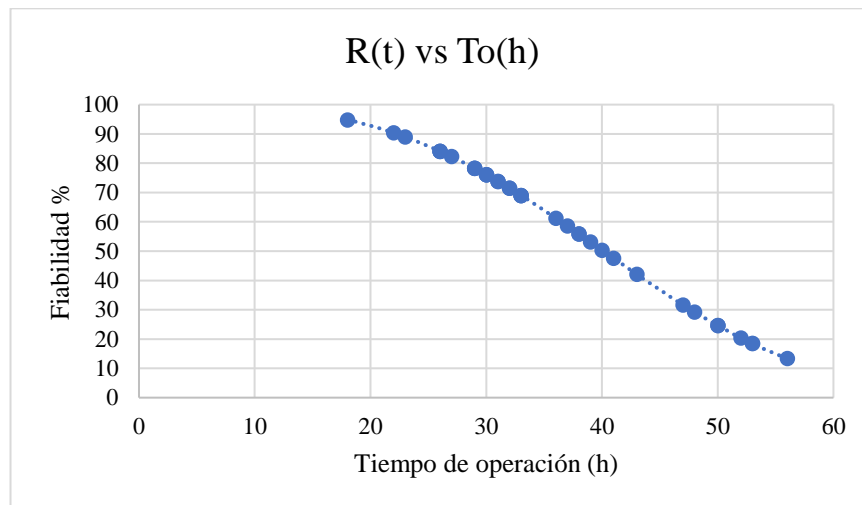


Figura 30: Gráfica de Fiabilidad vs Tiempo de operación del compresor de aire de tornillo.

Gamas de mantenimiento

Tabla 65: Gama de mantenimiento de enero del compresor de aire de tornillo.

Máquina	Actividades	Estado		ENERO																																	
		Encendido	Apagado	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes			
				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	26	27	28	29	30	31			
Compresor de aire de tornillo rotativo Atlas Copco GA22VSD	Revisión de arandelas, pernos, juntas y otros elementos de sujeción.		x																																		
	Revisión del nivel de aceite.		x																																		
	Revisión de descarga del condensado.	x																																			
	Control de accionamiento del botón del purgador de agua electrónico.	x																																			
	Reemplazo del cartucho del filtro de aire y filtro de aceite.		x																																		
	Revisión de conexiones (mangueras, juntas, acoples).		x																																		
	Revisión de lecturas de presión y temperatura.	x																																			
	Control de funcionamiento de los ventiladores.	x																																			
	Control de funcionamiento de válvulas.	x																																			
	Limpieza general de la estructura		x																																		
	Limpieza del refrigerador de aire y de aceite.		x																																		
	Limpieza de los ventiladores.		x																																		
	Cambio de aceite.		x																																		

Tabla 66: Gama de mantenimiento de febrero del compresor de aire de tornillo.

Máquina	Actividades	Estado		FEBRERO																																		
		Encendido	Apagado	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes							
				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	26	27	28							
Compresor de aire de tornillo rotativo Atlas Copco GA22VSD	Revisión de arandelas, pernos, juntas y otros elementos de sujeción.		x																																			
	Revisión del nivel de aceite.		x																																			
	Revisión de descarga del condensado.	x																																				
	Control de accionamiento del botón del purgador de agua electrónico.	x																																				
	Reemplazo del cartucho del filtro de aire y filtro de aceite.		x																																			
	Revisión de conexiones (mangueras, juntas, acoples).		x																																			
	Revisión de lecturas de presión y temperatura.	x																																				
	Control de funcionamiento de los ventiladores.	x																																				
	Control de funcionamiento de válvulas.	x																																				
	Limpieza general de la estructura		x																																			
	Limpieza del refrigerador de aire y de aceite.		x																																			
	Limpieza de los ventiladores.		x																																			
	Cambio de aceite.		x																																			

Tabla 67: Gama de mantenimiento de marzo del compresor de aire de tornillo.

Máquina	Actividades	Estado		MARZO																																				
		Encendido	Apagado	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves						
				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	26	27	28	29	30	31						
Compresor de aire de tornillo rotativo Atlas Copco GA22VSD	Revisión de arandelas, pernos, juntas y otros elementos de sujeción.	x																																						
	Revisión del nivel de aceite.	x																																						
	Revisión de descarga del condensado.	x																																						
	Control de accionamiento del botón del purgador de agua electrónico.	x																																						
	Reemplazo del cartucho del filtro de aire y filtro de aceite.	x																																						
	Revisión de conexiones (mangueras, juntas, acoples).	x																																						
	Revisión de lecturas de presión y temperatura.	x																																						
	Control de funcionamiento de los ventiladores.	x																																						
	Control de funcionamiento de válvulas.	x																																						
	Limpieza general de la estructura	x																																						
	Limpieza del refrigerador de aire y de aceite.	x																																						
	Limpieza de los ventiladores.	x																																						
	Cambio de aceite.	x																																						

Tabla 68: Gama de mantenimiento de abril del compresor de aire de tornillo.

Máquina	Actividades	Estado		ABRIL																																		
		Encendido	Apagado	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado					
				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	26	27	28	29	30					
Compresor de aire de tornillo rotativo Atlas Copco GA22VSD	Revisión de arandelas, pernos, juntas y otros elementos de sujeción.		x																																			
	Revisión del nivel de aceite.		x																																			
	Revisión de descarga del condensado.	x																																				
	Control de accionamiento del botón del purgador de agua electrónico.	x																																				
	Reemplazo del cartucho del filtro de aire y filtro de aceite.		x																																			
	Revisión de conexiones (mangueras, juntas, acoples).		x																																			
	Revisión de lecturas de presión y temperatura.	x																																				
	Control de funcionamiento de los ventiladores.	x																																				
	Control de funcionamiento de válvulas.	x																																				
	Limpieza general de la estructura		x																																			
	Limpieza del refrigerador de aire y de aceite.		x																																			
	Limpieza de los ventiladores.		x																																			
	Cambio de aceite.		x																																			

Tabla 69: Gama de mantenimiento de mayo del compresor de aire de tornillo.

Máquina	Actividades	Estado		MAYO																																
		Encendido	Apagado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes		
				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	26	27	28	29	30	31		
Compresor de aire de tornillo rotativo Atlas Copco GA22VSD	Revisión de arandelas, pernos, juntas y otros elementos de sujeción.		x																																	
	Revisión del nivel de aceite.		x																																	
	Revisión de descarga del condensado.	x																																		
	Control de accionamiento del botón del purgador de agua electrónico.	x																																		
	Reemplazo del cartucho del filtro de aire y filtro de aceite.		x																																	
	Revisión de conexiones (mangueras, juntas, acoples).		x																																	
	Revisión de lecturas de presión y temperatura.	x																																		
	Control de funcionamiento de los ventiladores.	x																																		
	Control de funcionamiento de válvulas.	x																																		
	Limpieza general de la estructura		x																																	
	Limpieza del refrigerador de aire y de aceite.		x																																	
	Limpieza de los ventiladores.		x																																	
	Cambio de aceite.		x																																	

Tabla 70: Gama de mantenimiento de junio del compresor de aire de tornillo.

Máquina	Actividades	Estado		JUNIO																																		
		Encendido	Apagado	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves					
				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	26	27	28	29	30					
Compresor de aire de tornillo rotativo Atlas Copco GA22VSD	Revisión de arandelas, pernos, juntas y otros elementos de sujeción.		x																																			
	Revisión del nivel de aceite.		x																																			
	Revisión de descarga del condensado.	x																																				
	Control de accionamiento del botón del purgador de agua electrónico.	x																																				
	Reemplazo del cartucho del filtro de aire y filtro de aceite.		x																																			
	Revisión de conexiones (mangueras, juntas, acoples).		x																																			
	Revisión de lecturas de presión y temperatura.	x																																				
	Control de funcionamiento de los ventiladores.	x																																				
	Control de funcionamiento de válvulas.	x																																				
	Limpieza general de la estructura		x																																			
	Limpieza del refrigerador de aire y de aceite.		x																																			
	Limpieza de los ventiladores.		x																																			
	Cambio de aceite.		x																																			

Tabla 71: Gama de mantenimiento de julio del compresor de aire de tornillo.

Máquina	Actividades	Estado		JULIO																																				
		Encendido	Apagado	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo						
				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	26	27	28	29	30	31						
Compresor de aire de tornillo rotativo Atlas Copco GA22VSD	Revisión de arandelas, pernos, juntas y otros elementos de sujeción.		x																																					
	Revisión del nivel de aceite.		x																																					
	Revisión de descarga del condensado.		x																																					
	Control de accionamiento del botón del purgador de agua electrónico.		x																																					
	Reemplazo del cartucho del filtro de aire y filtro de aceite.		x																																					
	Revisión de conexiones (mangueras, juntas, acoples).		x																																					
	Revisión de lecturas de presión y temperatura.		x																																					
	Control de funcionamiento de los ventiladores.		x																																					
	Control de funcionamiento de válvulas.		x																																					
	Limpieza general de la estructura		x																																					
	Limpieza del refrigerador de aire y de aceite.		x																																					
	Limpieza de los ventiladores.		x																																					
	Cambio de aceite.		x																																					

Tabla 72: Gama de mantenimiento de agosto del compresor de aire de tornillo.

Máquina	Actividades	Estado		AGOSTO																																		
		Encendido	Apagado	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles				
				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	26	27	28	29	30	31				
Compresor de aire de tornillo rotativo Atlas Copco GA22VSD	Revisión de arandelas, pernos, juntas y otros elementos de sujeción.	x																																				
	Revisión del nivel de aceite.	x																																				
	Revisión de descarga del condensado.	x																																				
	Control de accionamiento del botón del purgador de agua electrónico.	x																																				
	Reemplazo del cartucho del filtro de aire y filtro de aceite.	x																																				
	Revisión de conexiones (mangueras, juntas, acoples).	x																																				
	Revisión de lecturas de presión y temperatura.	x																																				
	Control de funcionamiento de los ventiladores.	x																																				
	Control de funcionamiento de válvulas.	x																																				
	Limpieza general de la estructura	x																																				
	Limpieza del refrigerador de aire y de aceite.	x																																				
	Limpieza de los ventiladores.	x																																				
	Cambio de aceite.	x																																				

Tabla 73: Gama de mantenimiento de septiembre del compresor de aire de tornillo.

Máquina	Actividades	Estado		SEPTIEMBRE																																			
		Encendido	Apagado	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes						
				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	26	27	28	29	30						
Compresor de aire de tornillo rotativo Atlas Copco GA22VSD	Revisión de arandelas, pernos, juntas y otros elementos de sujeción.		x																																				
	Revisión del nivel de aceite.		x																																				
	Revisión de descarga del condensado.	x																																					
	Control de accionamiento del botón del purgador de agua electrónico.	x																																					
	Reemplazo del cartucho del filtro de aire y filtro de aceite.		x																																				
	Revisión de conexiones (mangueras, juntas, acoples).		x																																				
	Revisión de lecturas de presión y temperatura.	x																																					
	Control de funcionamiento de los ventiladores.	x																																					
	Control de funcionamiento de válvulas.	x																																					
	Limpieza general de la estructura		x																																				
	Limpieza del refrigerador de aire y de aceite.		x																																				
	Limpieza de los ventiladores.		x																																				
	Cambio de aceite.		x																																				

Tabla 74: Gama de mantenimiento de octubre del compresor de aire de tornillo.

Máquina	Actividades	Estado		OCTUBRE																																				
		Encendido	Apagado	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes						
				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	26	27	28	29	30	31						
Compresor de aire de tornillo Atlas Copco GA22VSD	Revisión de arandelas, pernos, juntas y otros elementos de sujeción.		x																																					
	Revisión del nivel de aceite.		x																																					
	Revisión de descarga del condensado.	x																																						
	Control de accionamiento del botón del purgador de agua electrónico.	x																																						
	Reemplazo del cartucho del filtro de aire y filtro de aceite.		x																																					
	Revisión de conexiones (mangueras, juntas, acoples).		x																																					
	Revisión de lecturas de presión y temperatura.	x																																						
	Control de funcionamiento de los ventiladores.	x																																						
	Control de funcionamiento de válvulas.	x																																						
	Limpieza general de la estructura		x																																					
	Limpieza del refrigerador de aire y de aceite.		x																																					
	Limpieza de los ventiladores.		x																																					
	Cambio de aceite.		x																																					

Tabla 75: Gama de mantenimiento de noviembre del compresor de aire de tornillo.

Máquina	Actividades	Estado		NOVIEMBRE																																				
		Encendido	Apagado	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles							
				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	26	27	28	29	30							
Compresor de aire de tornillo rotativo Atlas Copco GA22VSD	Revisión de arandelas, pernos, juntas y otros elementos de sujeción.		x																																					
	Revisión del nivel de aceite.		x																																					
	Revisión de descarga del condensado.	x																																						
	Control de accionamiento del botón del purgador de agua electrónico.	x																																						
	Reemplazo del cartucho del filtro de aire y filtro de aceite.		x																																					
	Revisión de conexiones (mangueras, juntas, acoples).		x																																					
	Revisión de lecturas de presión y temperatura.	x																																						
	Control de funcionamiento de los ventiladores.	x																																						
	Control de funcionamiento de válvulas.	x																																						
	Limpieza general de la estructura		x																																					
	Limpieza del refrigerador de aire y de aceite.		x																																					
	Limpieza de los ventiladores.		x																																					
	Cambio de aceite.		x																																					

Tabla 76: Gama de mantenimiento de diciembre del compresor de aire de tornillo.

Máquina	Actividades	Estado		DICIEMBRE																																	
		Encendido	Apagado	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado			
				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	26	27	28	29	30	31			
Compresor de aire de tornillo Atlas Copco GA22VSD	Revisión de arandelas, pernos, juntas y otros elementos de sujeción.	x																																			
	Revisión del nivel de aceite.	x																																			
	Revisión de descarga del condensado.	x																																			
	Control de accionamiento del botón del purgador de agua electrónico.	x																																			
	Reemplazo del cartucho del filtro de aire y filtro de aceite.	x																																			
	Revisión de conexiones (mangueras, juntas, acoples).	x																																			
	Revisión de lecturas de presión y temperatura.	x																																			
	Control de funcionamiento de los ventiladores.	x																																			
	Control de funcionamiento de válvulas.	x																																			
	Limpieza general de la estructura	x																																			
	Limpieza del refrigerador de aire y de aceite.	x																																			
	Limpieza de los ventiladores.	x																																			
	Cambio de aceite.	x																																			

3.1.7. Aspersor de fibra de vidrio

Tabla 77: Ficha técnica del aspersor de fibra de vidrio.

Universidad Técnica de Ambato			
Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica			
Carrera de Ingeniería Mecánica			
Máquina	X	Equipo	Herramienta
			
Código	MPE-AFV-03-P3-0002-PPE		
Aspersor de fibra de vidrio			
Características generales		Características técnicas	
Marca	Magnum Venus Products (MVP)	Capacidad de salida	6.8 kg/min
Modelo	Patriot™ Chop/Wetout	Porcentaje de catalizador	0,75% a 2,5% por volumen
Año	2017	Consumo de aire	20 CFM
Procedencia	Española	Relación de bomba	7:1
Tipo de funcionamiento	Manual	Presión de entrada de aire	100 psi
Componentes			
Motor neumático		Agujas de inyección de catalizador / resina	
Manómetro y regulador de presión		Boquilla	
Indicador y regulador de aire de atomización		Pistola de rociado	
Botón de cebado		Bomba de pistón de doble acción	
Válvula de descarga		Depósito de aceite	
Función: Aplicar fibra de vidrio con alta precisión sobre un superficie o molde.			
Observaciones: Reemplaza el procedimiento tradicional de preparación y armado de piezas y moldes de fibra de vidrio.			

Las especificaciones técnicas, condiciones de servicio y componentes del aspersor de fibra de vidrio del área de fibra de vidrio de la empresa se detallan a continuación, con la finalidad de disponer de información que permita desarrollar un correcto plan de mantenimiento.

Especificaciones técnicas:

- Modelo: Patriot™ Chop/Wetout
- Año: 2017
- Capacidad de salida: 6.8 kg/min
- Porcentaje de catalizador: 0,75% a 2,5% por volumen
- Consumo de aire: 20 CFM
- Relación de bomba: 7:1
- Presión de entrada de aire: 100 psi

Condiciones de servicio:

- Tipo de instalación: Neumática (125 psi)
- Operarios: 1 persona
- Tiempo de funcionamiento: 5 horas diarias
- Señaléticas de seguridad: No existen
- Funcionamiento: Manual
- Indicaciones generales: Indispensable utilizar equipo de protección para los ojos.

Tabla 78: Componentes del aspersor de fibra de vidrio

Componente	Descripción
Motor neumático	Acciona la bomba de pistón de doble efecto
Manómetro y regulador de presión	Controla la presión de aire principal en el motor neumático
Indicador y regulador de aire de atomización	Controla la presión de aire de la boquilla del catalizador en la pistola.
Botón de cebado	Permite eliminar el aire de la bomba y la línea de succión.
Válvula de descarga	Alivia la presión del fluido (resina)

Tabla 79: Componentes del aspersor de fibra de vidrio (continuación).

Componente	Descripción
Válvula de entrada de aire	Activa o desactiva el suministro de aire principal al sistema
Depósito de aceite	Almacena y enfría el aceite proveniente de los elementos mecánicos de la bomba
Bomba de pistón de doble acción	Suministra fuerza al material para que sea distribuido por todo el sistema de aspersión.
Pistola de rociado	Permite aplicar el catalizador y la resina sobre una superficie.
Boquilla	Distribuye uniformemente el material hacia la superficie de trabajo.
Agujas de inyección de catalizador / resina	Suministra el material hacia la pistola de rociado.
Anillo de retención	Asegura las agujas de inyección de catalizador y de resina en su lugar.
Depósito del catalizador	Almacena el fluido catalizador.
Filtro del catalizador	Evita que partículas del fluido catalizador ingresen a la pistola de rociado y se obstruya.
Filtro de la resina	Evita que partículas del fluido de la resina ingresen a la pistola de rociado y se obstruya.
Válvula de recirculación	Asegura el flujo mínimo de catalizador permitido.
Arandelas	Mantiene la unión entre dos o más elementos de la máquina.
Juntas tóricas	Evita que partículas externas ingresen al interior del componente.
Elementos de sujeción	Sujeta y mantiene la unión de dos o más componentes del aspersor de fibra de vidrio
Elementos de la línea de conexión	Transporta el material hacia los lugares de trabajo del sistema de aspersión

Tabla 80: Repuestos disponibles para el aspersor de fibra de vidrio

Repuestos	Cantidad	Característica
Cables de conexión eléctrica	15	Cable de calibre 12.
Manómetro y regulador de presión	1	De 3/4" de tamaño y tres escalas de medición kg/cm ² , kPa y psi.
Boquillas de pistola de rociado	1	Conector de 3/4" y resistente a altas presiones
Filtro de resina	1	Para soporte de 10"
Pernos de sujeción	25	Pernos cabeza hexagonal de acero inoxidable espárrago
Arandelas	12	Acero con recubrimiento galvanizado de 3/4"
Mangueras	4	Entrada de agua de 3/4"

Instrucciones de funcionamiento

Pasos previos

- Reunir todas las herramientas y materiales necesarios para las comprobaciones previas al arranque.
- Revisar de que la línea de entrada de aire este correctamente conectada al colector de entrada.
- Asegurar que el contenedor de resina este bien sujeto.
- Girar la válvula de entrada de aire a la posición abierta y conectar el suministro de aire.
- Retirar la tapa de la boquilla, la punta del catalizador y la boquilla de la pistola.
- Comprobar si hay aceite en el depósito de la bomba.
- Asegurar la cantidad suficiente de catalizador en la jarra del catalizador.
- Comprobar que el tapón de la botella del catalizador está en su sitio.
- Colocar la varilla de recogida de resina en el contenedor de suministro de resina.
- Colocar el extremo de la manguera de retorno de resina en el contenedor de resina.
- Purgar el aire de la línea de alimentación del catalizador a la bomba del catalizador.

- Cerrar la válvula de bola debajo de la cámara de compensación.
- Compruebe si todas las mangueras están desgastadas o dañadas; sustitúyalas si es necesario.

Arranque diario

- Comprobar todos los suministros de material y rellenar o sustituir según sea necesario.
- Abrir la válvula de recirculación de la bomba del catalizador.
- Abrir la válvula principal de entrada de aire en el colector.
- Retirar el pasador de pivote del accionamiento esclavo de la bomba del catalizador.
- Bombear manualmente la bomba del catalizador hasta que la corriente que regresa a la jarra del catalizador esté libre de aire.
- Cerrar la válvula de recirculación de la bomba del catalizador.
- Bombear manualmente la bomba del catalizador hasta que sienta la contrapresión.
- Comprobar la presión de la bomba de resina; si es necesario, girar lentamente la presión de aire de la bomba hasta la presión de funcionamiento
- Volver a colocar el pasador de pivote en el accionamiento de la bomba del catalizador.
- Comprobar la presión del aire de atomización y ajustarla si es necesario.
- Lubricar las juntas tóricas de la boquilla, las juntas tóricas del perno y las roscas delanteras de la pistola.
- Instalar la boquilla y la punta del catalizador en la pistola.

Cierre diario

- Limpiar la punta de la boquilla y la punta del catalizador con disolvente.
- Cerrar la válvula de bola principal de aire en el colector de aire.
- Retirar la boquilla y la punta del catalizador y limpiar con disolvente.
- Limpiar la cara de la pistola con un trapo o cepillo y disolvente.
- Colgar la pistola con los orificios de salida del bloque de la pistola hacia abajo.

Normas de seguridad

- Evitar el contacto con la piel y la inhalación de los productos químicos.
- Usar todos los productos químicos en áreas asignadas con buena ventilación.
- Los productos químicos son inflamables y reactivos.
- Las resinas líquidas sin curar son altamente inflamables a menos que el fabricante especifique lo contrario.
- No operar ni mover equipos eléctricos en presencia de vapores inflamables.
- Conectar a tierra todo el equipo.
- Si se observa o se siente una chispa, detener inmediatamente la operación. No operar el equipo hasta que el problema haya sido identificado y reparado.
- El catalizador contaminado puede provocar un incendio o una explosión.
- Usar y almacenar los productos químicos lejos del calor, las llamas y las chispas.
- No fumar en áreas de trabajo o cerca de químicos almacenados.
- Mantener alimentos y bebidas lejos del área de trabajo.
- Usar gafas de seguridad, protección para los oídos, un respirador y guantes resistentes a productos químicos.

Instrucciones de mantenimiento

Los detalles de las actividades de cuidado y mantenimiento del aspersor de fibra de vidrio de la empresa VARMA S.A. están basadas en acciones de prevención y limpieza con la finalidad de alargar la vida útil de sus componentes y elementos, mismas actividades que deben desarrollarse rutinaria o periódicamente.

Dentro de las actividades rutinarias de mantenimiento y de control general se encuentran principalmente aspectos de limpieza de la maquinaria y mecanismos inmediatamente después de terminar su uso cotidiano. A continuación, se presentan actividades de mantenimiento, limpieza y lubricación para el aspersor de fibra de vidrio.

Tabla 81: Frecuencia y actividades de mantenimiento y limpieza del aspersor de fibra de vidrio.

Mantenimiento						
Actividad	Diario	Semanal	Quincenal	Mensual	Semestral	Anual
Inspección de ajuste de todos los accesorios y conexiones	x					
Revisión del funcionamiento del gatillo de la pistola				x		
Purga del aire de la línea de alimentación del catalizador y de la bomba.	x					
Revisión del nivel de aceite en el depósito de la bomba.	x					
Inspección de desgaste o ruptura de las tuberías o mangueras.				x		
Revisión de presión de las líneas de fluido.		x				
Revisión del funcionamiento del pulsador del botón de cebado.					x	
Revisión de funcionamiento de las válvulas.					x	
Revisión y/o cambio de los elementos de sujeción.						x
Limpieza						
Limpieza general de la estructura					x	
Limpieza del filtro de resina y catalizador		x				
Limpieza de pistola de rociado	x					
Limpieza de agujas de catalizador/ resina y boquilla	x					
Lubricación						
Lubricación de la boquilla, perno y roscas delanteras de la pistola.	x					
Cambio de aceite de la bomba						x

Estadístico de mantenimiento anual

Tabla 82: Estadístico de mantenimiento anual del cuarto de secado

Máquina	Cuarto de secado										
Horas de Trabajo	8 horas diarias										
Mes	Actividad	Fecha	TO (h)	TR (h)	TM (h)	TP(h)	MTBF (h)	λ	MTTR (h)	μ	D (%)
Enero	Inicio de actividades laborales (nuevo año)	02/01/2020					42,67	0,0234	0,17	6,0	0,9961
	Limpieza general de la estructura	07/01/2020	39	0,3	0,2	0,5					
	Revisión y/o cambio de los elementos de sujeción.	14/01/2020	51	0,1	0,3	0,4					
	Cambio de aceite de la bomba	21/01/2020	38	0,1	0,1	0,2					
Febrero	Inspección de ajuste de todos los accesorios y conexiones	04/02/2020	25	0,2	0,3	0,5	30,50	0,0328	0,13	8,0	0,9959
	Purga del aire de la línea de alimentación del catalizador y de la bomba.	11/02/2020	29	0,1	0,1	0,2					

Tabla 82: Estadístico de mantenimiento anual del cuarto de secado (continuación).

	Revisión del nivel de aceite en el depósito de la bomba.	17/02/2020	42	0,1	0,1	0,2					
	Inspección de desgaste o ruptura de las tuberías o mangueras.	24/02/2020	26	0,1	0,3	0,4					
Marzo	Revisión del funcionamiento del gatillo de la pistola	02/03/2020	24	0,1	0,1	0,2	29,50	0,0339	0,13	8,0	0,9958
	Revisión de presión de las líneas de fluido.	09/03/2020	22	0,2	0,1	0,3					
	Limpieza del filtro de resina y catalizador	16/03/2020	45	0,1	0,2	0,3					
	Limpieza de pistola de rociado	23/03/2020	27	0,1	0,1	0,2					
Abril	Lubricación de la boquilla, perno y roscas delanteras de la pistola.	01/04/2020	37	0,2	0,3	0,5	36,00	0,0278	0,20	5	0,9945
	Inspección de desgaste o ruptura de las tuberías o mangueras.	06/04/2020	31	0,2	0,1	0,3					
	Inspección de ajuste de todos los accesorios y conexiones	13/04/2020	48	0,1	0,2	0,3					
	Limpieza de agujas de catalizador/ resina y boquilla	27/04/2020	28	0,3	0,1	0,4					

Tabla 82: Estadístico de mantenimiento anual del cuarto de secado (continuación).

Mayo	Purga del aire de la línea de alimentación del catalizador y de la bomba.	04/05/2020	26	0,2	0,1	0,3	36,00	0,0278	0,15	6,67	0,9959
	Lubricación de la boquilla, perno y roscas delanteras de la pistola.	11/05/2020	44	0,2	0,1	0,3					
	Revisión del nivel de aceite en el depósito de la bomba.	18/05/2020	34	0,1	0,2	0,3					
	Limpieza de pistola de rociado	25/05/2020	40	0,1	0,1	0,2					
Junio	Revisión del funcionamiento del gatillo de la pistola	01/06/2020	49	0,1	0,2	0,3	34,67	0,0288	0,1333	7,50	0,9962
	Inspección de desgaste o ruptura de las tuberías o mangueras.	15/06/2020	31	0,2	0,3	0,5					
	Limpieza general de la estructura	26/06/2020	24	0,1	0,1	0,2					
Julio	Revisión del funcionamiento del pulsador del botón de cebado.	06/07/2020	33	0,1	0,2	0,3	33,5	0,0299	0,1	10	0,9970
	Revisión de funcionamiento de las válvulas.	20/07/2020	34	0,1	0,1	0,2					

Tabla 82: Estadístico de mantenimiento anual del cuarto de secado (continuación).

Agosto	Revisión de presión de las líneas de fluido.	03/08/2020	51	0,2	0,1	0,3	38,33	0,0261	0,13	7,50	0,9965
	Limpieza de agujas de catalizador/ resina y boquilla	10/08/2020	31	0,1	0,3	0,4					
	Inspección de ajuste de todos los accesorios y conexiones	17/08/2020	33	0,1	0,2	0,3					
Septiembre	Revisión del funcionamiento del gatillo de la pistola	07/09/2020	32	0,2	0,1	0,3	31	0,0323	0,2	5	0,9936
	Limpieza del filtro de resina y catalizador	21/09/2020	30	0,2	0,1	0,3					
Octubre	Lubricación de la boquilla, perno y roscas delanteras de la pistola.	05/10/2020	49	0,1	0,1	0,2	39,5	0,0253	0,1	10,00	0,9975
	Purga del aire de la línea de alimentación del catalizador y de la bomba.	19/10/2020	30	0,1	0,2	0,3					
Noviembre	Limpieza de agujas de catalizador/ resina y boquilla	02/11/2020	37	0,2	0,1	0,3	36	0,0278	0,15	7	0,9959

Tabla 82: Estadístico de mantenimiento anual del cuarto de secado (continuación).

	Limpieza de pistola de rociado	16/11/2020	35	0,1	0,2	0,3					
Diciembre	Revisión del funcionamiento del gatillo de la pistola	07/12/2020	40	0,2	0,2	0,4	33,0	0,0303	0,1667	6,00	0,9950
	Revisión del nivel de aceite en el depósito de la bomba.	14/12/2020	29	0,1	0,2	0,3					
	Inspección de desgaste o ruptura de las tuberías o mangueras.	21/12/2020	30	0,2	0,1	0,3					

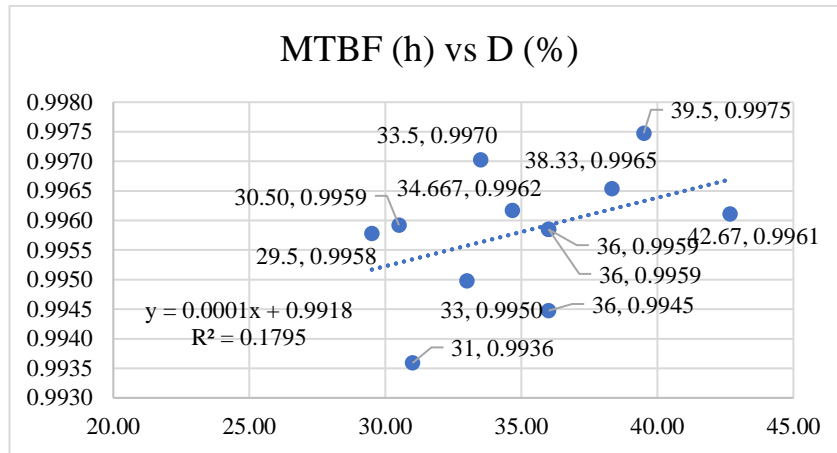


Figura 31: Gráfica de MTBF (h) vs D (%) del aspersor de fibra de vidrio.

En la figura 31 el punto de máxima disponibilidad con un valor de 0,9975=99,75% correspondiente un tiempo de buen funcionamiento de 39,5 horas semanales y la mínima disponibilidad es de 0,9936=99,36% correspondiente un tiempo de buen funcionamiento de 31 horas semanales, debido a que los datos se encuentran dispersos los valores del coeficiente de determinación no rondan la unidad $R^2 = 0.1795$.

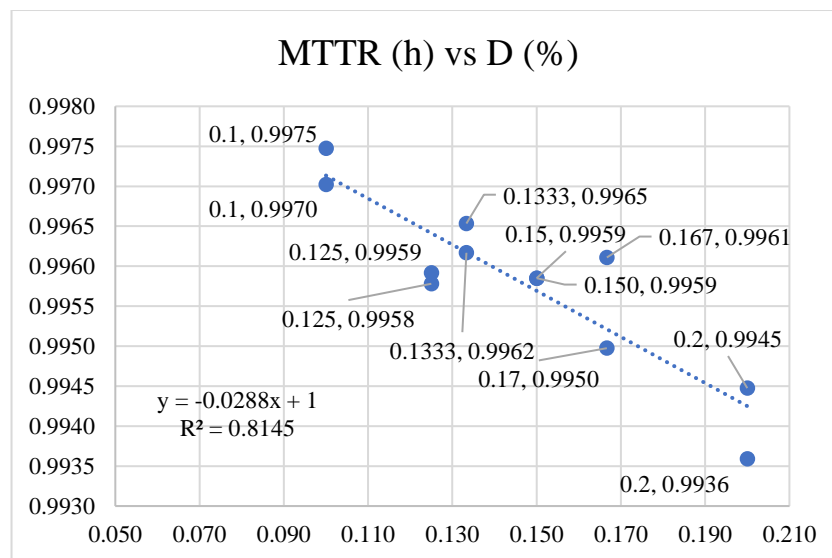


Figura 32: Gráfica de MTTR (h) vs D (%) del aspersor de fibra de vidrio.

En la figura 32 el punto de máxima disponibilidad con un valor de 0,9975=99,75% correspondiente para tiempo de reparación de 0,1 horas semanales y la mínima disponibilidad es de 0,9936=99,36% correspondiente para un tiempo reparación de 0,2 horas semanales, existe una relación de los datos encontrados ya que los valores del coeficiente de determinación rondan la unidad $R^2 = 0,8145$.

Matriz AMFE

Tabla 83: Matriz AMFE del aspersor de fibra de vidrio.

Matriz de criterios ponderados AMFE											
Máquina:	Aspersor de fibra de vidrio		Marca:	Magnum Venus Products (MVP)		Fecha realización:	12/12/2021		Hoja N°:	1	
Área:	Área de Fibra		Modelo:	Patriot™		Fecha revisión:			De:	1	
N°	Descripción del componente	Función del componente	Falla funcional	Modo de fallo	Causa Raíz	Efecto	Valoración				Recomendación
							G	F	D	IPR	
1	Motor neumático	Accionar la bomba de pistón de doble efecto	Reducción de rendimiento y vibraciones	Avería	Desgaste causado por el funcionamiento cotidiano	Paro operacional	8	3	5	120	Inspeccionar los elementos que se involucran en el funcionamiento y sustituirlos de ser necesario.
2	Manómetro y regulador de presión	Controlar la presión de aire principal en el motor neumático	Baja de presión en la línea de aire	Avería	Desgaste causado por el funcionamiento cotidiano	Falta de suministro de aire al motor y sobreesfuerzo de este	4	3	2	24	Revisar que la presión de aire en la línea de suministro se encuentra dentro de las recomendaciones del fabricante.
3	Indicador y regulador de aire de atomización	Controlar la presión de aire de la boquilla del catalizador en la pistola.	Bajo suministro de catalizador en la pistola	Desgaste	Desgaste causado por el funcionamiento cotidiano	Curado lento del material en varias zonas.	4	3	2	24	Regular la presión a la salida de la pistola antes de iniciar la jornada laboral, sustituir el elemento de ser necesario.

Tabla 83: Matriz AMFE del aspersor de fibra de vidrio (continuación).

N°	Descripción del componente	Función del componente	Falla funcional	Modo de fallo	Causa Raíz	Efecto	G	F	D	IPR	Recomendación
4	Botón de cebado	Permitir eliminar el aire de la bomba y la línea de succión.	Rotura o desgaste del pulsador.	Rotura/Desgaste	Manipulación incorrecta y uso cotidiano	Paro operacional	3	4	2	24	Revisar el movimiento del pulsador, si es deficiente, reemplazar el componente.
5	Válvula de descarga	Aliviar la presión del fluido (resina)	Daño del mecanismo de apertura y cierre	Avería	Desgaste causado por el funcionamiento cotidiano	Paro operacional	3	3	3	27	Supervisar constantemente el mecanismo de la válvula.
6	Válvula de entrada de aire	Activar o desactivar el suministro de aire principal al sistema	Daño del mecanismo de apertura y cierre	Avería	Desgaste causado por el funcionamiento cotidiano	Paro operacional	3	3	3	27	Supervisar constantemente el mecanismo de la válvula.
7	Depósito de aceite	Almacenar y enfriar el aceite proveniente de los elementos mecánicos de la bomba	Deficiente distribución de aceite en el sistema	Obstrucción	Acumulación de suciedad en el depósito.	Desgaste mecánico de los materiales por fricción	4	2	5	40	Limpiar el depósito de aceite con mayor frecuencia.

Tabla 83: Matriz AMFE del aspersor de fibra de vidrio (continuación).

N°	Descripción del componente	Función del componente	Falla funcional	Modo de fallo	Causa Raíz	Efecto	G	F	D	IPR	Recomendación
8	Bomba de pistón de doble acción	Suministrar fuerza al material para que sea distribuido por todo el sistema de aspersión.	Reducción de eficiencia y aumento de ruido	Avería	Presencia de aire en la bomba	Corrosión y ruptura de componentes	8	3	5	120	Cebar la bomba de forma regular.
9	Pistola de rociado	Aplicar el catalizador y la resina sobre una superficie.	No hay suministro de catalizador	Obstrucción	Obstrucción de la aguja de inyección del catalizador	Paro operacional	5	5	4	100	Inspeccionar y limpiar los sistemas de alimentación de la pistola.
10	Boquilla	Distribuir uniformemente el material hacia la superficie de trabajo	Orificio de la boquilla desgastado, dañado u obstruido.	Desgaste/Obstrucción	Desgaste causado por el funcionamiento cotidiano	El material presenta rayas o franjas.	2	3	2	12	Utilizar un alambre fino para limpiar la boquilla desde la cara posterior.
11	Agujas de inyección de catalizador / resina	Suministrar el material hacia la pistola de rociado.	Suministro inicial bajo en resina seguido de suministro bajo en catalizador.	Descalibración	Desequilibrio de agujas de inyección del sistema de suministro	Material duro en zonas específicas y mal curado.	3	4	4	48	Ajustar las agujas del catalizador y resina a una configuración de apertura adecuada.

Tabla 83: Matriz AMFE del aspersor de fibra de vidrio (continuación).

N°	Descripción del componente	Función del componente	Falla funcional	Modo de fallo	Causa Raíz	Efecto	G	F	D	IPR	Recomendación
12	Anillo de retención	Asegurar las agujas de inyección de catalizador y de resina en su lugar.	Oxidación de elementos	Desgaste	Reacción de los metales con el aire	Pérdida de propiedades del anillo de retención.	3	3	2	18	Revisar y de ser necesario cambiar los elementos deteriorados.
13	Depósito del catalizador	Almacenar el fluido catalizador.	Fuga del fluido catalizador	Rotura	Rotura causada por el funcionamiento cotidiano	Contaminación del área de trabajo por fluido tóxico.	4	3	3	36	Inspeccionar visualmente alrededor del depósito.
14	Filtro del catalizador	Evitar que partículas del fluido catalizador ingresen a la pistola de rociado y se obstruya.	Poco o ningún suministro de catalizador	Obstrucción	Obstrucción en el filtro del sistema del catalizador	Material suministrado no se está curando (se cura lentamente)	3	4	4	48	Limpiar periódicamente el filtro del catalizador o sustituirlo de ser necesario.
15	Filtro de la resina	Evitar que partículas del fluido de la resina ingresen a la pistola de rociado y se obstruya.	Deficiente o poco suministro de resina por parte de la bomba	Obstrucción	Acumulador de resina lleno de material duro	Material suministrado caliente (se cura rápidamente)	3	4	4	48	Limpiar periódicamente el filtro de resina o sustituirlo de ser necesario.

Tabla 83: Matriz AMFE del aspersor de fibra de vidrio (continuación).

Nº	Descripción del componente	Función del componente	Falla funcional	Modo de fallo	Causa Raíz	Efecto	G	F	D	IPR	Recomendación
16	Válvula de recirculación	Asegurar el flujo mínimo de catalizador permitido.	Suministro de catalizador deficiente	Avería	Fallo en el mecanismo bypass de la válvula	Material suministrado por la pistola de rociado se cura lentamente	4	2	5	40	Revisar el funcionamiento, además, la presión del fluido antes y luego de la válvula.
17	Arandelas	Mantener la unión entre dos o más elementos de la máquina.	Oxidación de metales (pernos, tuercas, arandelas, etc)	Desgaste	Reacción de los metales con el aire	Pérdida de propiedades de los materiales	2	2	2	8	Supervisar constantemente las uniones (retirar el óxido y aplicar pintura antioxidante)
18	Juntas tóricas	Evitar que partículas externas ingresen al interior del componente.	Fuga en la parte posterior de la pistola.	Desgaste	Desgaste propio de la manipulación diaria	Escape de fluido del sistema	2	3	2	12	Revisar el estado de estos elementos, sustituir de ser necesario.
19	Elementos de sujeción	Sujetar y mantener la unión de dos o más componentes del aspersor de fibra de vidrio	Oxidación	Desgaste	Reacción de los metales con el aire	Pérdida de propiedades de los materiales	2	2	2	8	Supervisar constantemente las uniones (retirar el óxido y aplicar pintura antioxidante) o reemplazar elemento si es necesario.
20	Elementos de la línea de conexión	Transportar el material hacia los lugares de trabajo del sistema de aspersión	Fuga de fluido	Rotura	Uso cotidiano o aumentos repentinos de presión.	Pérdida de presión del fluido a la salida	4	4	3	48	Revisar las lecturas de presión y en caso de anomalías reparar o cambiar mangueras y tuberías.
Promedio										41,60	

Análisis de criticidad

Tabla 84: Cálculo de Criticidad del Aspersor de fibra de vidrio


						Universidad Técnica de Ambato			Estado de criticidad
						Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica			
						Carrera de Ingeniería Mecánica			
Aspersor de fibra de vidrio		Código:	MPE-AFV-03-P3-0002-PPE	MATRIZ DE CRITICIDAD		CÁLCULO DE CRITICIDAD CON FORMULA			
		Registro N°	01	HOJA N°	01 DE 01	FFF	CONSECUENCIA	CRITICIDAD	
N°	ELEMENTOS	IP	FO	CM	SAH	FFF	CONSECUENCIA	CRITICIDAD	Estado de criticidad
1	Motor neumático	10	4	7	2	1	49	49	C
2	Manómetro y regulador de presión	5	2	2	2	1	14	14	NC
3	Indicador y regulador de aire de atomización	5	2	2	1	1	13	13	NC
4	Botón de cebado	5	4	1	0	1	21	21	NC
5	Válvula de descarga	8	2	2	1	1	19	19	NC
6	Válvula de entrada de aire	5	2	1	1	1	12	12	NC
7	Depósito de aceite	5	4	4	2	1	26	26	SC
8	Bomba de pistón de doble acción	10	4	4	2	1	46	46	C
9	Pistola de rociado	8	4	7	1	1	40	40	SC
10	Boquilla	5	4	1	0	2	21	42	C
11	Agujas de inyección de catalizador / resina	5	2	4	0	1	14	14	NC
12	Anillo de retención	5	2	4	1	1	15	15	NC
13	Depósito del catalizador	1	1	1	5	2	7	14	NC
14	Filtro del catalizador	5	2	1	1	2	12	24	SC
15	Filtro de la resina	5	2	1	1	1	12	12	NC
16	Válvula de recirculación	5	4	1	0	1	21	21	NC

Tabla 84: Cálculo de Criticidad del Aspersor de fibra de vidrio (continuación).

N°	ELEMENTOS	IP	FO	CM	SAH	FFF	CONSECUENCIA	CRITICIDAD	E/C
17	Arandelas	1	2	1	0	1	3	3	NC
18	Juntas tóricas	5	2	1	0	1	11	11	NC
19	Elementos de sujeción	5	2	1	0	1	11	11	NC
20	Elementos de la línea de conexión	8	2	1	2	1	19	19	NC
PROMEDIO DE CRITICIDAD						1.1	19.3	21.6	
		NOMBRE:			FECHA:				
REALIZÓ:		Steven Vargas							
VERIFICÓ:		Ing. Mg Christian Castro							
VALIDÓ:		Ing. Mg Christian Castro							

Tabla 85: Matriz de criticidad del Aspersor de fibra de vidrio

FRECUENCIAS DE FALLAS	4					
	3					
	2		Depósito del catalizador	Filtro del catalizador		
	1	Válvula de entrada de aire Arandelas Juntas tóricas Elementos de sujeción	Manómetro y regulador de presión Indicador y regulador de aire de atomización Botón de cebado Válvula de descarga Agujas de inyección de catalizador / resina Anillo de retención Filtro de la resina Válvula de recirculación Elementos de la línea de conexión	Depósito de aceite	Bomba de pistón de doble acción Pistola de rociado Boquilla	Motor neumático
		1 a 12	13 a 24	24 a 36	37 a 48	49 a 60
CONSECUENCIA						

Modelo matemático del aspersor de fibra de vidrio

Tabla 86: Datos estadísticos del aspersor de fibra de vidrio.

Actividad	N° de falla	TO (h)	ln (To)
1	1	39	3,6636
2	1	51	3,9318
3	1	38	3,6376
4	1	25	3,2189
5	1	29	3,3673
6	1	42	3,7377
7	1	26	3,2581
8	1	24	3,1781
9	1	22	3,0910
10	1	45	3,8067
11	1	27	3,2958
12	1	37	3,6109
13	1	31	3,4340
14	1	48	3,8712
15	1	28	3,3322
16	1	26	3,2581
17	1	44	3,7842
18	1	34	3,5264
19	1	40	3,6889
20	1	49	3,8918
21	1	31	3,4340
22	1	24	3,1781
23	1	33	3,4965
24	1	34	3,5264
25	1	51	3,9318
26	1	31	3,4340
27	1	33	3,4965
28	1	32	3,4657
29	1	30	3,4012
30	1	49	3,8918
31	1	30	3,4012
32	1	37	3,6109
33	1	35	3,5553
34	1	40	3,6889
35	1	29	3,3673
36	1	30	3,4012
Total	36		126,86

Tabla 87: Datos calculados para obtener el valor de la varianza del aspersor de fibra de vidrio.

Actividad	N° de falla	TO (h)	$\ln(TO)$	$(\ln(TO) - \bar{x})^2$
1	1	39	3,6636	0,0195
2	1	51	3,9318	0,1663
3	1	38	3,6376	0,0129
4	1	25	3,2189	0,0931
5	1	29	3,3673	0,0246
6	1	42	3,7377	0,0456
7	1	26	3,2581	0,0707
8	1	24	3,1781	0,1197
9	1	22	3,0910	0,1875
10	1	45	3,8067	0,0799
11	1	27	3,2958	0,0521
12	1	37	3,6109	0,0075
13	1	31	3,4340	0,0081
14	1	48	3,8712	0,1205
15	1	28	3,3322	0,0368
16	1	26	3,2581	0,0707
17	1	44	3,7842	0,0677
18	1	34	3,5264	0,0000
19	1	40	3,6889	0,0272
20	1	49	3,8918	0,1353
21	1	31	3,4340	0,0081
22	1	24	3,1781	0,1197
23	1	33	3,4965	0,0008
24	1	34	3,5264	0,0000
25	1	51	3,9318	0,1663
26	1	31	3,4340	0,0081
27	1	33	3,4965	0,0008
28	1	32	3,4657	0,0034
29	1	30	3,4012	0,0151
30	1	49	3,8918	0,1353
31	1	30	3,4012	0,0151
32	1	37	3,6109	0,0075

Tabla 88: Datos calculados para obtener el valor de la varianza del aspersor de fibra de vidrio (continuación).

33	1	35	3,5553	0,0010
34	1	40	3,6889	0,0272
35	1	29	3,3673	0,0246
36	1	30	3,4012	0,0151
Total	36		126,86	1,8936

Tabla 89: Datos calculados en base a estadísticos del aspersor de fibra de vidrio.

Parámetros calculados	
<i>Media</i> (\bar{x})	3,5240
<i>Varianza</i> (S^2)	0,0541
<i>Desviación</i> (S)	0,2326
<i>Parámetro de forma</i> (β)	5,5140
<i>Parámetro de escala</i> (α)	37,6641
<i>Parámetro de localización</i> (γ)	0

Tabla 90: Cálculos de fiabilidad e in fiabilidad del aspersor de fibra de vidrio.

Actividad	N° de falla	TO (h)	$\ln(T_o)$	$(\ln(T_o) - \bar{x})^2$	$R(t)$	$R(t)\%$	$F(t)$	$F(t)\%$
1	1	39	3,6636	0,0195	0,3656	36,5554	0,6344	63,4446
2	1	51	3,9318	0,1663	0,3477	34,7666	0,6523	65,2334
3	1	38	3,6376	0,0129	0,3673	36,7287	0,6327	63,2713
4	1	25	3,2189	0,0931	0,3952	39,5198	0,6048	60,4802
5	1	29	3,3673	0,0246	0,3853	38,5314	0,6147	61,4686
6	1	42	3,7377	0,0456	0,3606	36,0610	0,6394	63,9390
7	1	26	3,2581	0,0707	0,3926	39,2588	0,6074	60,7412
8	1	24	3,1781	0,1197	0,3979	39,7913	0,6021	60,2087
9	1	22	3,0910	0,1875	0,4037	40,3696	0,5963	59,6304
10	1	45	3,8067	0,0799	0,3560	35,6009	0,6440	64,3991
11	1	27	3,2958	0,0521	0,3901	39,0075	0,6099	60,9925
12	1	37	3,6109	0,0075	0,3691	36,9066	0,6309	63,0934
13	1	31	3,4340	0,0081	0,3809	38,0868	0,6191	61,9132
14	1	48	3,8712	0,1205	0,3517	35,1706	0,6483	64,8294

Tabla 90: Cálculos de fiabilidad e in fiabilidad del aspersor de fibra de vidrio (continuación).

15	1	28	3,3322	0,0368	0,3877	38,7652	0,6123	61,2348
16	1	26	3,2581	0,0707	0,3926	39,2588	0,6074	60,7412
17	1	44	3,7842	0,0677	0,3575	35,7507	0,6425	64,2493
18	1	34	3,5264	0,0000	0,3747	37,4707	0,6253	62,5293
19	1	40	3,6889	0,0272	0,3639	36,3865	0,6361	63,6135
20	1	49	3,8918	0,1353	0,3503	35,0332	0,6497	64,9668
21	1	31	3,4340	0,0081	0,3809	38,0868	0,6191	61,9132
22	1	24	3,1781	0,1197	0,3979	39,7913	0,6021	60,2087
23	1	33	3,4965	0,0008	0,3767	37,6699	0,6233	62,3301
24	1	34	3,5264	0,0000	0,3747	37,4707	0,6253	62,5293
25	1	51	3,9318	0,1663	0,3477	34,7666	0,6523	65,2334
26	1	31	3,4340	0,0081	0,3809	38,0868	0,6191	61,9132
27	1	33	3,4965	0,0008	0,3767	37,6699	0,6233	62,3301
28	1	32	3,4657	0,0034	0,3788	37,8751	0,6212	62,1249
29	1	30	3,4012	0,0151	0,3831	38,3054	0,6169	61,6946
30	1	49	3,8918	0,1353	0,3503	35,0332	0,6497	64,9668
31	1	30	3,4012	0,0151	0,3831	38,3054	0,6169	61,6946
32	1	37	3,6109	0,0075	0,3691	36,9066	0,6309	63,0934
33	1	35	3,5553	0,0010	0,3728	37,2774	0,6272	62,7226
34	1	40	3,6889	0,0272	0,3639	36,3865	0,6361	63,6135
35	1	29	3,3673	0,0246	0,3853	38,5314	0,6147	61,4686
36	1	30	3,4012	0,0151	0,3831	38,3054	0,6169	61,6946

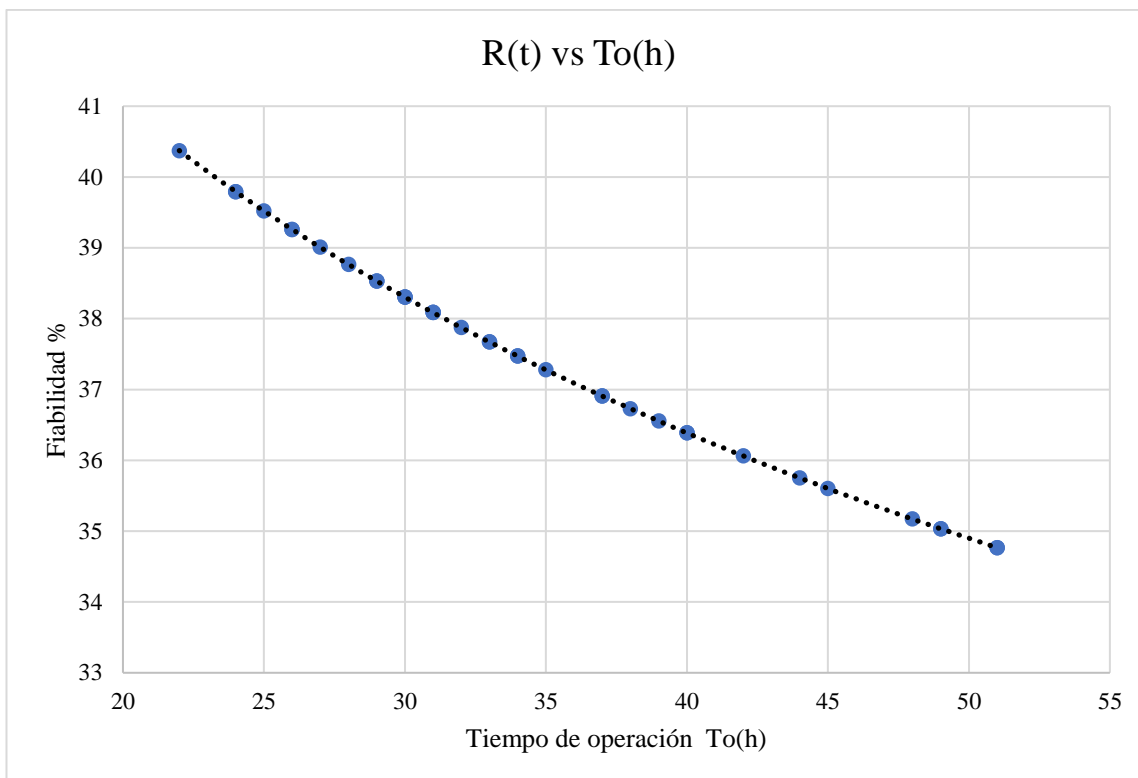


Figura 33: Gráfica de fiabilidad R(t) vs tiempo de operación To del aspersor de fibra de vidrio.

Modelo gráfico de Weibull del cuarto de secado

$$F(i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4}$$

Tabla 91: Datos del porcentaje de falla acumulativa F(i) del aspersor de fibra de vidrio.

Número de fallas (i)	To (h)	Rango medio	Porcentaje de fallas acumulativas Fi (%)
1	39	0,0192	1,9231
2	51	0,0467	4,6703
3	38	0,0742	7,4176
4	25	0,1016	10,1648
5	29	0,1291	12,9121
6	42	0,1566	15,6593
7	26	0,1841	18,4066
8	24	0,2115	21,1538
9	22	0,2390	23,9011

Tabla 91: Datos del porcentaje de falla acumulativa $F(i)$ del aspersor de fibra de vidrio (continuación).

Número de fallas (i)	T_o (h)	Rango medio	Porcentaje de fallas acumulativas F_i (%)
10	45	0,2665	26,6484
11	27	0,2940	29,3956
12	37	0,3214	32,1429
13	31	0,3489	34,8901
14	48	0,3764	37,6374
15	28	0,4038	40,3846
16	26	0,4313	43,1319
17	44	0,4588	45,8791
18	34	0,4863	48,6264
19	40	0,5137	51,3736
20	49	0,5412	54,1209
21	31	0,5687	56,8681
22	24	0,5962	59,6154
23	33	0,6236	62,3626
24	34	0,6511	65,1099
25	51	0,6786	67,8571
26	31	0,7060	70,6044
27	33	0,7335	73,3516
28	32	0,7610	76,0989
29	30	0,7885	78,8462
30	49	0,8159	81,5934
31	30	0,8434	84,3407
32	37	0,8709	87,0879
33	35	0,8984	89,8352
34	40	0,9258	92,5824
35	29	0,9533	95,3297
36	30	0,9808	98,0769

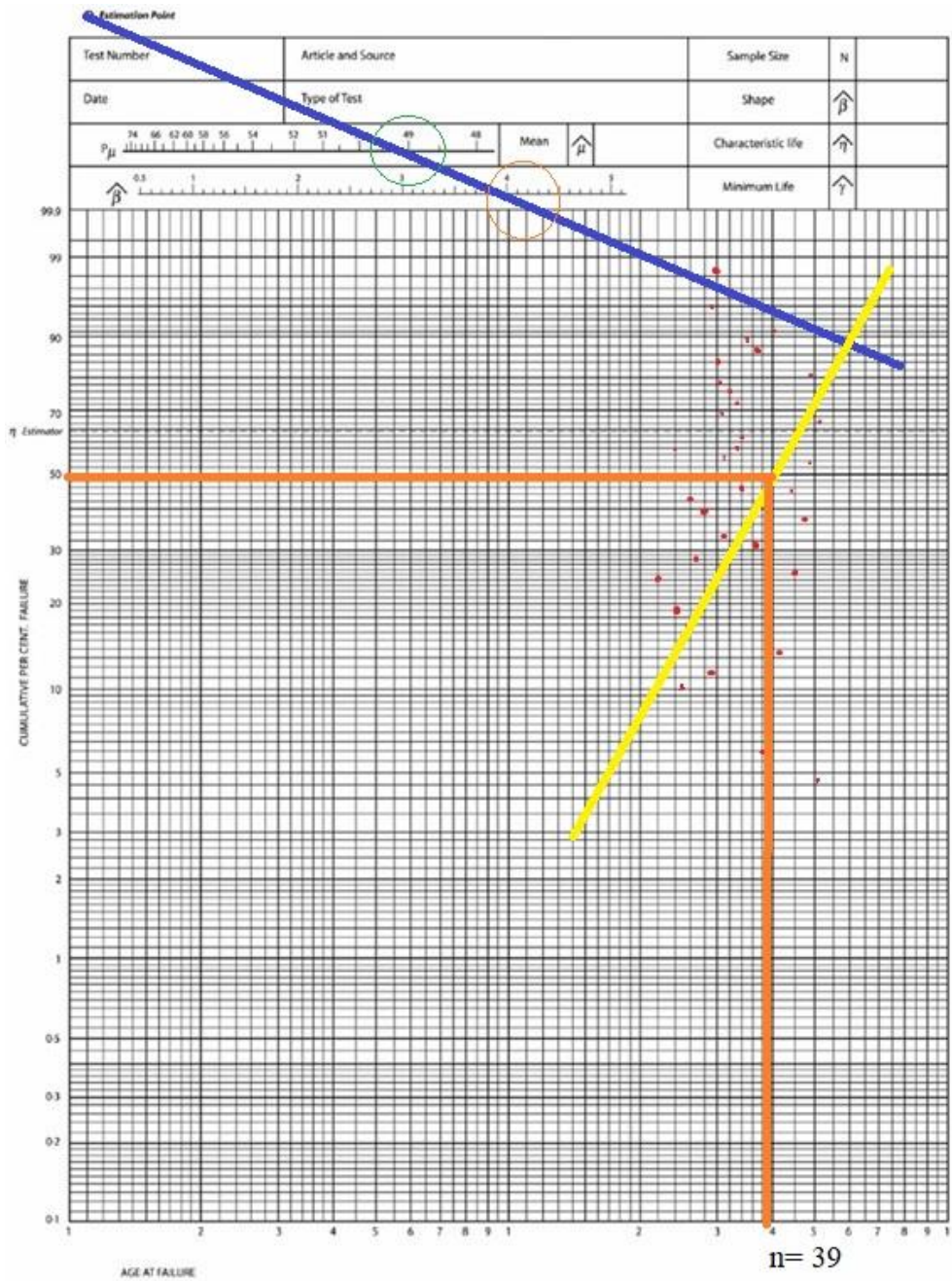


Figura 34: Papel de Weibull para el aspersor de fibra de vidrio.

Mediante el método gráfico se estiman los siguientes valores.

Tabla 92: Parámetros del aspersor de fibra de vidrio.

P_u	49,5
β	4
n	39

Tabla 93: Cálculo de la fiabilidad del aspersor de fibra de vidrio mediante el método gráfico de Weibull.

Número de fallas (<i>i</i>)	<i>T_o</i> (<i>h</i>)	Rango medio	Porcentaje de fallas acumulativas <i>F_i</i> (%)	<i>R</i> (<i>t</i>)	<i>R</i> (<i>t</i>)%
1	39	0,0192	1,9231	0,3679	36,7879
2	51	0,0467	4,6703	0,0537	5,3702
3	38	0,0742	7,4176	0,4060	40,6036
4	25	0,1016	10,1648	0,8446	84,4635
5	29	0,1291	12,9121	0,7366	73,6588
6	42	0,1566	15,6593	0,2605	26,0526
7	26	0,1841	18,4066	0,8208	82,0755
8	24	0,2115	21,1538	0,8664	86,6397
9	22	0,2390	23,9011	0,9037	90,3699
10	45	0,2665	26,6484	0,1699	16,9904
11	27	0,2940	29,3956	0,7948	79,4757
12	37	0,3214	32,1429	0,4448	44,4805
13	31	0,3489	34,8901	0,6709	67,0858
14	48	0,3764	37,6374	0,1008	10,0802
15	28	0,4038	40,3846	0,7667	76,6677
16	26	0,4313	43,1319	0,8208	82,0755
17	44	0,4588	45,8791	0,1979	19,7871
18	34	0,4863	48,6264	0,5612	56,1221
19	40	0,5137	51,3736	0,3307	33,0689
20	49	0,5412	54,1209	0,0828	8,2755
21	31	0,5687	56,8681	0,6709	67,0858
22	24	0,5962	59,6154	0,8664	86,6397
23	33	0,6236	62,3626	0,5989	59,8923
24	34	0,6511	65,1099	0,5612	56,1221
25	51	0,6786	67,8571	0,0537	5,3702
26	31	0,7060	70,6044	0,6709	67,0858

Tabla 93: Cálculo de la fiabilidad del aspersor de fibra de vidrio mediante el método gráfico de Weibull (continuación).

Número de fallas (<i>i</i>)	<i>T_o</i> (h)	Rango medio	Porcentaje de fallas acumulativas <i>F_i</i> (%)	<i>R(t)</i>	<i>R(t)</i> %
27	33	0,7335	73,3516	0,5989	59,8923
28	32	0,7610	76,0989	0,6356	63,5557
29	30	0,7885	78,8462	0,7046	70,4598
30	49	0,8159	81,5934	0,0828	8,2755
31	30	0,8434	84,3407	0,7046	70,4598
32	37	0,8709	87,0879	0,4448	44,4805
33	35	0,8984	89,8352	0,5227	52,2748
34	40	0,9258	92,5824	0,3307	33,0689
35	29	0,9533	95,3297	0,7366	73,6588
36	30	0,9808	98,0769	0,7046	70,4598

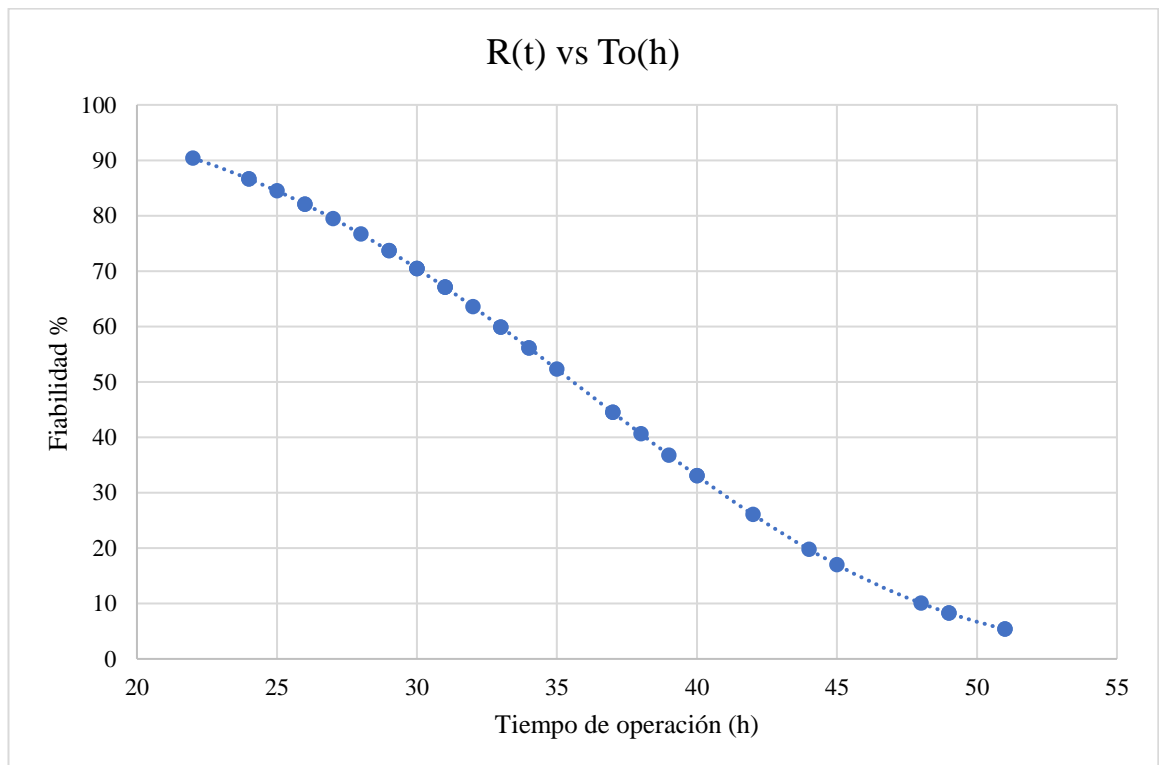


Figura 35: Gráfica de Fiabilidad vs Tiempo de operación del aspersor de fibra de vidrio.

Gamas de mantenimiento

Tabla 94: Gama de mantenimiento de enero del aspersor de fibra de vidrio.

Máquina	Actividades	Estado		ENERO																																			
		Encendido	Apagado	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes					
				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	26	27	28	29	30	31					
Aspersor de fibra de vidrio MVP Patriot™	Inspección de ajuste de todos los accesorios y conexiones	x																																					
	Revisión del funcionamiento del gatillo de la pistola	x																																					
	Purga del aire de la línea de alimentación del catalizador y de la bomba.	x																																					
	Revisión del nivel de aceite en el depósito de la bomba.	x																																					
	Inspección de desgaste o ruptura de las tuberías o mangueras.	x																																					
	Revisión de presión de las líneas de fluido.	x																																					
	Revisión del funcionamiento del pulsador del botón de cebado.	x																																					
	Revisión de funcionamiento de las válvulas.	x																																					
	Revisión y/o cambio de los elementos de sujeción.	x																																					
	Limpieza general de la estructura	x																																					
	Limpieza del filtro de resina y catalizador	x																																					
	Limpieza de pistola de rociado	x																																					
	Limpieza de agujas de catalizador/ resina y boquilla	x																																					
	Lubricación de la boquilla, perno y roscas delanteras de la pistola.	x																																					
	Cambio de aceite de la bomba	x																																					

Tabla 95: Gama de mantenimiento de febrero del aspersor de fibra de vidrio.

Máquina	Actividades	Estado		FEBRERO																												
		Encendido	Apagado	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	
				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	26	27	28	
Aspersor de fibra de vidrio MVP Patriot™	Inspección de ajuste de todos los accesorios y conexiones		x																													
	Revisión del funcionamiento del gatillo de la pistola	x																														
	Purga del aire de la línea de alimentación del catalizador y de la bomba.	x																														
	Revisión del nivel de aceite en el depósito de la bomba.		x																													
	Inspección de desgaste o ruptura de las tuberías o mangueras.	x																														
	Revisión de presión de las líneas de fluido.	x																														
	Revisión del funcionamiento del pulsador del botón de cebado.	x																														
	Revisión de funcionamiento de las válvulas.	x																														
	Revisión y/o cambio de los elementos de sujeción.		x																													
	Limpieza general de la estructura		x																													
	Limpieza del filtro de resina y catalizador		x																													
	Limpieza de pistola de rociado		x																													
	Limpieza de agujas de catalizador/resina y boquilla		x																													
	Lubricación de la boquilla, perno y roscas delanteras de la pistola.		x																													
	Cambio de aceite de la bomba		x																													

Tabla 96: Gama de mantenimiento de marzo del aspersor de fibra de vidrio.

Máquina	Actividades	Estado		MARZO																																	
		Encendido	Apagado	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves			
				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	26	27	28	29	30	31			
Aspersor de fibra de vidrio MVP Patriot™	Inspección de ajuste de todos los accesorios y conexiones		x																																		
	Revisión del funcionamiento del gatillo de la pistola	x																																			
	Purga del aire de la línea de alimentación del catalizador y de la bomba.	x																																			
	Revisión del nivel de aceite en el depósito de la bomba.		x																																		
	Inspección de desgaste o ruptura de las tuberías o mangueras.	x																																			
	Revisión de presión de las líneas de fluido.	x																																			
	Revisión del funcionamiento del pulsador del botón de cebado.	x																																			
	Revisión de funcionamiento de las válvulas.	x																																			
	Revisión y/o cambio de los elementos de sujeción.		x																																		
	Limpieza general de la estructura		x																																		
	Limpieza del filtro de resina y catalizador		x																																		
	Limpieza de pistola de rociado		x																																		
	Limpieza de agujas de catalizador/ resina y boquilla		x																																		
	Lubricación de la boquilla, perno y roscas delanteras de la pistola.		x																																		
	Cambio de aceite de la bomba		x																																		

Tabla 97: Gama de mantenimiento de abril del aspersor de fibra de vidrio.

Máquina	Actividades	Estado		ABRIL																																		
		Encendido	Apagado	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado					
				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	26	27	28	29	30					
Aspersor de fibra de vidrio MVP Patriot™	Inspección de ajuste de todos los accesorios y conexiones		x																																			
	Revisión del funcionamiento del gatillo de la pistola	x																																				
	Purga del aire de la línea de alimentación del catalizador y de la bomba.	x																																				
	Revisión del nivel de aceite en el depósito de la bomba.		x																																			
	Inspección de desgaste o ruptura de las tuberías o mangueras.	x																																				
	Revisión de presión de las líneas de fluido.	x																																				
	Revisión del funcionamiento del pulsador del botón de cebado.	x																																				
	Revisión de funcionamiento de las válvulas.	x																																				
	Revisión y/o cambio de los elementos de sujeción.		x																																			
	Limpieza general de la estructura		x																																			
	Limpieza del filtro de resina y catalizador		x																																			
	Limpieza de pistola de rociado		x																																			
	Limpieza de agujas de catalizador/ resina y boquilla		x																																			
	Lubricación de la boquilla, perno y roscas delanteras de la pistola.		x																																			
	Cambio de aceite de la bomba		x																																			

Tabla 98: Gama de mantenimiento de mayo del aspersor de fibra de vidrio.

Máquina	Actividades	Estado		MAYO																																	
		Encendido	Apagado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes			
				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	26	27	28	29	30	31			
Aspersor de fibra de vidrio MVP Patriot™	Inspección de ajuste de todos los accesorios y conexiones		x																																		
	Revisión del funcionamiento del gatillo de la pistola	x																																			
	Purga del aire de la línea de alimentación del catalizador y de la bomba.	x																																			
	Revisión del nivel de aceite en el depósito de la bomba.		x																																		
	Inspección de desgaste o ruptura de las tuberías o mangueras.	x																																			
	Revisión de presión de las líneas de fluido.	x																																			
	Revisión del funcionamiento del pulsador del botón de cebado.	x																																			
	Revisión de funcionamiento de las válvulas.	x																																			
	Revisión y/o cambio de los elementos de sujeción.		x																																		
	Limpieza general de la estructura		x																																		
	Limpieza del filtro de resina y catalizador		x																																		
	Limpieza de pistola de rociado		x																																		
	Limpieza de agujas de catalizador/ resina y boquilla		x																																		
	Lubricación de la boquilla, perno y roscas delanteras de la pistola.		x																																		
	Cambio de aceite de la bomba		x																																		

Tabla 99: Gama de mantenimiento de junio del aspersor de fibra de vidrio.

Máquina	Actividades	Estado		JUNIO																																
		Encendido	Apagado	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves			
				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	26	27	28	29	30			
Aspersor de fibra de vidrio MVP Patriot™	Inspección de ajuste de todos los accesorios y conexiones		x																																	
	Revisión del funcionamiento del gatillo de la pistola	x																																		
	Purga del aire de la línea de alimentación del catalizador y de la bomba.	x																																		
	Revisión del nivel de aceite en el depósito de la bomba.		x																																	
	Inspección de desgaste o ruptura de las tuberías o mangueras.	x																																		
	Revisión de presión de las líneas de fluido.	x																																		
	Revisión del funcionamiento del pulsador del botón de cebado.	x																																		
	Revisión de funcionamiento de las válvulas.	x																																		
	Revisión y/o cambio de los elementos de sujeción.		x																																	
	Limpieza general de la estructura		x																																	
	Limpieza del filtro de resina y catalizador		x																																	
	Limpieza de pistola de rociado		x																																	
	Limpieza de agujas de catalizador/ resina y boquilla		x																																	
	Lubricación de la boquilla, perno y roscas delanteras de la pistola.		x																																	
	Cambio de aceite de la bomba		x																																	

Tabla 100: Gama de mantenimiento de julio del aspersor de fibra de vidrio.

Máquina	Actividades	Estado	JULIO																													
---------	-------------	--------	-------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

		Encendido	Apagado	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo				
				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	26	27	28	29	30	31				
				Aspersor de fibra de vidrio MVP Patriot™	Inspección de ajuste de todos los accesorios y conexiones	x																																
	Revisión del funcionamiento del gatillo de la pistola	x																																				
	Purga del aire de la línea de alimentación del catalizador y de la bomba.	x																																				
	Revisión del nivel de aceite en el depósito de la bomba.	x																																				
	Inspección de desgaste o ruptura de las tuberías o mangueras.	x																																				
	Revisión de presión de las líneas de fluido.	x																																				
	Revisión del funcionamiento del pulsador del botón de cebado.	x																																				
	Revisión de funcionamiento de las válvulas.	x																																				
	Revisión y/o cambio de los elementos de sujeción.	x																																				
	Limpieza general de la estructura	x																																				
	Limpieza del filtro de resina y catalizador	x																																				
	Limpieza de pistola de rociado	x																																				
	Limpieza de agujas de catalizador/ resina y boquilla	x																																				
	Lubricación de la boquilla, perno y roscas delanteras de la pistola.	x																																				
	Cambio de aceite de la bomba	x																																				

Tabla 101: Gama de mantenimiento de agosto del aspersor de fibra de vidrio.

Máquina	Actividades	Estado		AGOSTO																											
		Encen	Apaga	Lunes	Marte	Miérc	Jueve	Viern	Sábado	Domi	Lunes	Marte	Miérc	Jueve	Viern	Sábado	Domi	Lunes	Marte	Miérc	Jueve	Viern	Sábado	Domi	Lunes	Marte	Miérc	Jueve	Viern	Sábado	Domi

				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	26	27	28	29	30	31			
Aspersor de fibra de vidrio MVP Patriot™	Inspección de ajuste de todos los accesorios y conexiones	x																																			
	Revisión del funcionamiento del gatillo de la pistola	x																																			
	Purga del aire de la línea de alimentación del catalizador y de la bomba.	x																																			
	Revisión del nivel de aceite en el depósito de la bomba.	x																																			
	Inspección de desgaste o ruptura de las tuberías o mangueras.	x																																			
	Revisión de presión de las líneas de fluido.	x																																			
	Revisión del funcionamiento del pulsador del botón de cebado.	x																																			
	Revisión de funcionamiento de las válvulas.	x																																			
	Revisión y/o cambio de los elementos de sujeción.	x																																			
	Limpieza general de la estructura	x																																			
	Limpieza del filtro de resina y catalizador	x																																			
	Limpieza de pistola de rociado	x																																			
	Limpieza de agujas de catalizador/ resina y boquilla	x																																			
	Lubricación de la boquilla, perno y roscas delanteras de la pistola.	x																																			
	Cambio de aceite de la bomba	x																																			

Tabla 102: Gama de mantenimiento de septiembre del aspersor de fibra de vidrio.

Máquina	Actividades	Estado		SEPTIEMBRE																											
		Encendido	Apagado	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles

		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	26	27	28	29	30	
Aspersor de fibra de vidrio MVP Patriot™	Inspección de ajuste de todos los accesorios y conexiones	x																														
	Revisión del funcionamiento del gatillo de la pistola	x																														
	Purga del aire de la línea de alimentación del catalizador y de la bomba.	x																														
	Revisión del nivel de aceite en el depósito de la bomba.	x																														
	Inspección de desgaste o ruptura de las tuberías o mangueras.	x																														
	Revisión de presión de las líneas de fluido.	x																														
	Revisión del funcionamiento del pulsador del botón de cebado.	x																														
	Revisión de funcionamiento de las válvulas.	x																														
	Revisión y/o cambio de los elementos de sujeción.	x																														
	Limpieza general de la estructura	x																														
	Limpieza del filtro de resina y catalizador	x																														
	Limpieza de pistola de rociado	x																														
	Limpieza de agujas de catalizador/ resina y boquilla	x																														
	Lubricación de la boquilla, perno y roscas delanteras de la pistola.	x																														
	Cambio de aceite de la bomba	x																														

Tabla 103: Gama de mantenimiento de octubre del aspersor de fibra de vidrio.

Máquina	Actividades	Estado		OCTUBRE																												
		Encendido	Apagado	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes					

				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	26	27	28	29	30	31					
Aspersor de fibra de vidrio MVP Patriot™	Inspección de ajuste de todos los accesorios y conexiones	x																																					
	Revisión del funcionamiento del gatillo de la pistola	x																																					
	Purga del aire de la línea de alimentación del catalizador y de la bomba.	x																																					
	Revisión del nivel de aceite en el depósito de la bomba.	x																																					
	Inspección de desgaste o ruptura de las tuberías o mangueras.	x																																					
	Revisión de presión de las líneas de fluido.	x																																					
	Revisión del funcionamiento del pulsador del botón de cebado.	x																																					
	Revisión de funcionamiento de las válvulas.	x																																					
	Revisión y/o cambio de los elementos de sujeción.	x																																					
	Limpieza general de la estructura	x																																					
	Limpieza del filtro de resina y catalizador	x																																					
	Limpieza de pistola de rociado	x																																					
	Limpieza de agujas de catalizador/ resina y boquilla	x																																					
	Lubricación de la boquilla, perno y roscas delanteras de la pistola.	x																																					
	Cambio de aceite de la bomba	x																																					



Tabla 104: Gama de mantenimiento de noviembre del aspersor de fibra de vidrio.

Máquina	Actividades	Estado		NOVIEMBRE																														
		Encendido	Apagado	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	
				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	26	27	28	29	30	31

Aspersor de fibra de vidrio MVP Patriot™	Inspección de ajuste de todos los accesorios y conexiones	x																		
	Revisión del funcionamiento del gatillo de la pistola	x																		
	Purga del aire de la línea de alimentación del catalizador y de la bomba.	x																		
	Revisión del nivel de aceite en el depósito de la bomba.	x																		
	Inspección de desgaste o ruptura de las tuberías o mangueras.	x																		
	Revisión de presión de las líneas de fluido.	x																		
	Revisión del funcionamiento del pulsador del botón de cebado.	x																		
	Revisión de funcionamiento de las válvulas.	x																		
	Revisión y/o cambio de los elementos de sujeción.	x																		
	Limpieza general de la estructura	x																		
	Limpieza del filtro de resina y catalizador	x																		
	Limpieza de pistola de rociado	x																		
	Limpieza de agujas de catalizador/ resina y boquilla	x																		
Lubricación de la boquilla, perno y roscas delanteras de la pistola.	x																			
Cambio de aceite de la bomba	x																			

3.1.8. Cuarto de secado

Tabla 106: Ficha técnica cuarto de secado.

Universidad Técnica de Ambato				
Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica				
Carrera de Ingeniería Mecánica				
Máquina		Equipo		Herramienta
				
Código				
Cuarto de secado				
Características generales			Características técnicas	
Marca	Varma		Número de filtros	4
Modelo	VM3		Número de ventiladores	5
Año	2020		Número de lámparas	1
Procedencia	Ecuador		Dimensiones	Largo: 7000mm Ancho: 4000 mm Alto: 2500 mm Área: 28 m ²
Tipo	Fija		Temperatura de trabajo	20-25°
Componentes				
Estructura			Ventilador	
Rejillas			Sistema eléctrico	
Ventana			Sistema neumático	
Filtro de aire			Lámpara	
Función: Evitar que se impregnen partículas volátiles del entorno en procesos de pintura o secado de las piezas fibra de vidrio.				
Observaciones: Se requiere realizar mantenimiento inmediatamente				

Las especificaciones técnicas, condiciones de servicio y componentes del cuarto de secado del área de fibra de vidrio de la empresa se detallan a continuación, con la finalidad de disponer de información que permita desarrollar un correcto plan de mantenimiento, cabe recalcar que este cuarto fue fabricado y diseñado por parte del departamento técnico de la empresa por lo que no existe un manual de funcionamiento.

Especificaciones técnicas:

- Modelo: VARMA VM3
- Año: 2020
- Largo: 7000 mm
- Ancho: 4000 mm
- Alto: 2500 mm
- Área: 28 m²
- Sistema de ventilación: Filtros y ventiladores
- Sistema de iluminación: lámparas
- Sistema neumático: aire comprimido 125 psi

Condiciones de servicio:

- Temperatura: 20 – 25 °C
- Operarios: 2 personas
- Tiempo de funcionamiento: 8 horas diarias
- Materiales: Aluminio y vidrio
- Señaléticas de seguridad: visibles en buen estado
- Funcionamiento: manual
- Indicaciones generales: utilización de equipo de seguridad
- Fuente de energía: 110V
- Manuales: no dispone.

Tabla 107: Componentes del cuarto de secado.

Componente	Descripción
Caja de mando	Controla el paso de la energía eléctrica a los componentes del cuarto de secado.
Cableado eléctrico	Cableado externo aislado y protegido ante la exposición de partículas del entorno.
Interruptores ON/OFF de ventiladores	Encendido y apagado de los ventiladores instalados en la parte superior del cuarto de secado
Interruptores ON/OFF de luces	Encendido y apagado luces/lámparas LED
Lámparas LED	Iluminación interna del cuarto de secado de 100 W
Filtro de aire comprimido	Purga el aire proveniente del compresor, evitando ingresos de partículas volátiles.
Llave de paso de aire comprimido	Abre y cierra el paso del aire comprimido a las tuberías de aire.
Tuberías de aire comprimido	Circular el aire comprimido a lo largo del cuarto de secado
Estructura	Estructuras soportes distribuidas a lo largo del cuarto de secado a manera de tejido.
Ventiladores	Ubicados en el techo del cuarto de secado, permiten la entrada de un flujo de aire continuo para ayudar a secar partes y elementos.
Rejillas de ventilación	Permite la entrada y salida de aire del cuarto de secado sin presencia de partículas.
Puerta movediza	Permite el ingreso o salida de partes, componentes y operarios al cuarto de secado.
Ventana	Permite iluminación y visibilidad del interior del cuarto de secado.
Pernos de sujeción	Fija los elementos y componentes a la estructura o paredes del cuarto de secado.

Tabla 108: Repuestos disponibles para el cuarto de secado.

Repuestos	Cantidad	Característica
Pernos de sujeción	25	Pernos cabeza hexagonal de acero inoxidable espárrago
Cables de conexión eléctrica	15	Cable de calibre 12
Botones interruptores	6	Plástico de alta resistencia
Aspas de ventiladores	2	Aspas de plástico helicoidales
Rejillas de ventilación	2	Elaboradas en Aluminio
Vidrios de ventanas	1	Vidrio disponible para corte sobre medida de la ventana
Llave de paso tubería de aire	1	¾ de pulgada galvanizada
Accesorios de la tubería de aire	5	Uniones, codos y tubería para el sistema del aire comprimido
Lámparas LED	2	Potencia 100W

Normas de seguridad

- Utilización de equipo de protección y vestimenta propias de espacios con entornos controlados.
- Utilización de mascarillas con filtro para partículas y vapores.
- Utilización del cuarto para procesos de secado de pintura y fibra.
- Revisión del estado de filtro de aire comprimido.

Instrucciones de mantenimiento

Los detalles de actividades preventivas de cuidados y mantenimientos del cuarto de secado de la empresa VARMA S.A. están basadas en acciones de prevención y limpieza con la finalidad de alargar la vida útil de sus componentes y elementos, mismas actividades que deben desarrollarse rutinaria o periódicamente.

A continuación, se presentan actividades de rutinarias de mantenimiento y de control general se encuentran principalmente aspectos de limpieza de la maquinaria y mecanismos inmediatamente después de terminar su uso cotidiano, especialmente en componentes críticos como filtro de aire comprimido, ventiladores y estructura en general.

Tabla 109: Frecuencia y actividades de mantenimiento y limpieza del cuarto de secado de Varma S.A.

Mantenimiento						
Actividad	Diario	Semanal	Quincenal	Mensual	Semestral	Anual
Controlar la sujeción, ajuste y estado de pernos		x				
Control de los cables de conexión eléctrica		x				
Control de los interruptores de ON/OFF de luces				x		
Control de los interruptores de ON/OFF de los ventiladores				x		
Control del funcionamiento de los ventiladores	x					
Revisión del estado de las aspas de los ventiladores		x				
Reemplazo de filtro					x	
Reemplazo de lámparas LED					x	
Control de la llave de paso de aire comprimido				x		
Revisión de estado general de estructura interna				x		
Limpieza						
Limpieza general del cuarto de secado		x				
Limpieza de las rejillas de ventilación		x				
Limpieza de ventanas		x				
Limpieza de puerta				x		
Limpieza de aspas de ventiladores				x		
Limpieza de soportes portaobjetos internos	x					
Lubricación						
Engrase de rieles de puerta corrediza				x		

Estadístico de mantenimiento anual

Tabla 110: Estadístico de mantenimiento anual del cuarto de secado

Máquina	Cuarto de secado										
Horas de Trabajo	8 horas diarias										
Mes	Actividad	Fecha	TO (h)	TR (h)	TM (h)	TP(h)	MTBF (h)	λ	MTTR (h)	μ	D (%)
Enero	Inicio de actividades laborales (nuevo año)	02/01/2020					42,67	0,0234	0,133	7,5	0,9969
	Revisión de accionamientos de interruptores	07/01/2020	43	0,1	0,1	0,2					
	Revisión y control de cableado eléctrico y conexiones	14/01/2020	50	0,1	0,2	0,3					
	Limpieza general del cuarto de secado	21/01/2020	35	0,2	0,1	0,3					
Febrero	Limpieza de filtro de aire	04/02/2020	25	0,2	0,1	0,3	34,50	0,0290	0,175	5,7143	0,9950
	Revisión y limpieza de rejillas de ventilación	11/02/2020	28	0,2	0,1	0,3					
	Revisión de pernos de sujeción	17/02/2020	53	0,1	0,2	0,3					
	Limpieza de soportes portaobjetos internos	24/02/2020	32	0,2	0,1	0,3					

Tabla 110: Estadístico de mantenimiento anual del cuarto de secado (continuación).

Marzo	Revisión y control de aspas de ventilación	02/03/2020	24	0,1	0,1	0,2	30,5	0,0328	0,125	8	0,9959
	Engrase de rieles de puerta corrediza	09/03/2020	20	0,1	0,1	0,2					
	Revisión y control de cableado eléctrico y conexiones	16/03/2020	50	0,1	0,2	0,3					
	Revisión y limpieza rejillas de ventilación	23/03/2020	28	0,2	0,1	0,3					
Abril	Limpieza general del cuarto de secado	01/04/2020	35	0,2	0,1	0,3	33,75	0,0296	0,1	10	0,9970
	Control de la llave de paso de aire comprimido	06/04/2020	30	0,2	0,1	0,3					
	Limpieza interna y externa de puerta y ventana	13/04/2020	45	0,3	0,1	0,4					
	Limpieza de filtro de aire	27/04/2020	25	0,2	0,1	0,3					
Mayo	Revisión de estado general de estructura interna	04/05/2020	25	0,2	0,2	0,4	33	0,0303	0,125	8	0,9962
	Revisión de accionamientos de interruptores	11/05/2020	42	0,1	0,1	0,2					
	Limpieza de aspas de ventilación	18/05/2020	30	0,1	0,1	0,2					
	Limpieza general del cuarto de secado	25/05/2020	35	0,2	0,1	0,3					

Tabla 110: Estadístico de mantenimiento anual del cuarto de secado (continuación).

Junio	Revisión y control de cableado eléctrico y conexiones	01/06/2020	50	0,1	0,2	0,3	37,3333	0,0268	0,1333	7,5	0,9964
	Limpieza de soportes portaobjetos internos	15/06/2020	32	0,2	0,1	0,3					
	Control de la llave de paso de aire comprimido	26/06/2020	30	0,2	0,1	0,3					
Julio	Reemplazo de lámparas LED	06/07/2020	34	0,2	0,2	0,4	38	0,0263	0,15	6,6667	0,9961
	Revisión de accionamientos de interruptores	20/07/2020	42	0,1	0,1	0,2					
Agosto	Revisión de pernos de sujeción	03/08/2020	53	0,1	0,2	0,3	37,67	0,0265	0,1333	7,5000	0,9965
	Limpieza de soportes portaobjetos internos	10/08/2020	32	0,2	0,1	0,3					
	Revisión y limpieza de rejillas de ventilación	17/08/2020	28	0,2	0,1	0,3					
Septiembre	Limpieza general del cuarto de secado	07/09/2020	35	0,2	0,1	0,3	32,5	0,0308	0,1	10	0,9969
	Limpieza de aspas de ventilación	21/09/2020	30	0,1	0,1	0,2					
Octubre	Revisión y control de cableado eléctrico y conexiones	05/10/2020	50	0,1	0,2	0,3	44	0,0227	0,2	5	0,9955

Tabla 110: Estadístico de mantenimiento anual del cuarto de secado (continuación).

	Reemplazo de filtro de aire comprimido	19/10/2020	38	0,2	0,2	0,4					
Noviembre	Revisión de accionamientos de interruptores	02/11/2020	42	0,1	0,1	0,2	35	0,0286	0,1	10	0,9972
	Revisión y limpieza rejillas de ventilación	16/11/2020	28	0,2	0,1	0,3					
Diciembre	Limpieza interna y externa de puerta y ventana	07/12/2020	45	0,3	0,1	0,4	36,6667	0,0273	0,10	10	0,9973
	Control de la llave de paso de aire comprimido	14/12/2020	30	0,2	0,1	0,5					
	Limpieza general del cuarto de secado	21/12/2020	35	0,2	0,1	0,3					

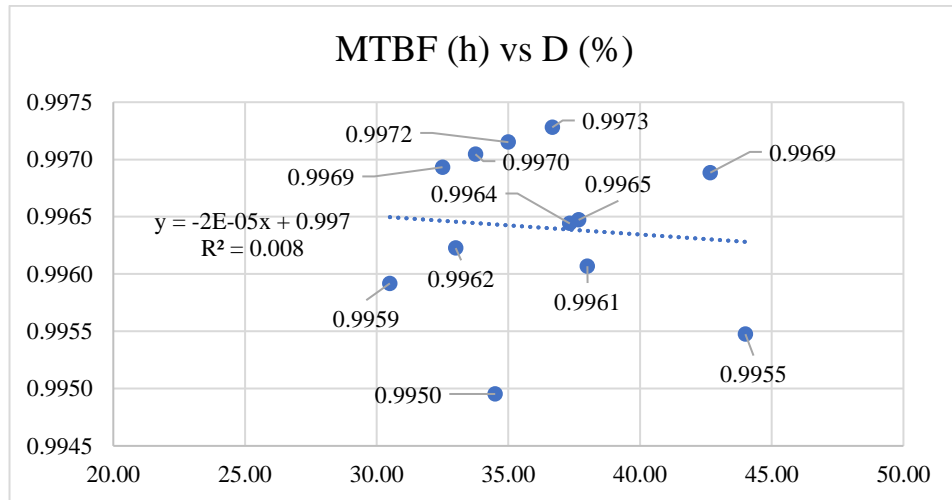


Figura 36: Gráfica de MTBF (h) vs D (%) del cuarto de secado.

En la figura 36 el punto de máxima disponibilidad con un valor de 0,9973=99,73% correspondiente un tiempo de buen funcionamiento de 36,66 horas semanales y la mínima disponibilidad es de 0,9934=99,50% correspondiente un tiempo de buen funcionamiento de 34,50 horas semanales, debido a que los datos se encuentran dispersos los valores del coeficiente de determinación no rondan la unidad $R^2 = 0.008$.

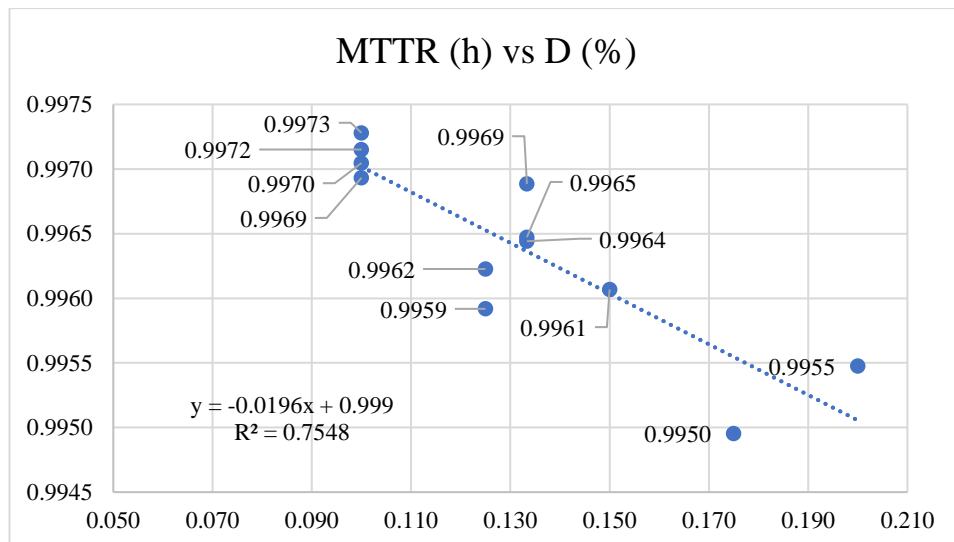


Figura 37: Gráfica de MTTR (h) vs D (%) del cuarto de secado.

En la figura 37 el punto de máxima disponibilidad con un valor de 0,9973=99,73% correspondiente para tiempo de reparación de 0,1 horas semanales y la mínima disponibilidad es de 0,9950=99,50% correspondiente para un tiempo reparación de 0,175 horas semanales, existe una relación de los datos encontrados ya que los valores del coeficiente de determinación rondan la unidad $R^2 = 0,7548$.

Matriz AMFE

Tabla 1111: Matriz AMFE del cuarto de secado.

Matriz de criterios ponderados AMFE											
Máquina:	Cuarto de secado		Marca:	Varma		Fecha realización:	12/12/2021			Hoja N°:	1
Área:	Área de Fibra		Modelo:	VM3		Fecha revisión:				De:	1
N°	Descripción del componente	Función del componente	Falla funcional	Modo de fallo	Causa Raíz	Efecto	Valoración				Recomendación
							G	F	D	IPR	
1	Caja de mando	Bloquear y desbloquear el interruptor ON/OFF	Avería de interruptores	Avería/ Descompostura	Desgaste propio de la manipulación diaria	Falla en los accionamientos de luces y ventiladores	2	3	2	12	Realizar una adecuada manipulación de las botoneras presentes en la caja de mando
2	Cableado eléctrico	Transmitir la energía eléctrica en el cuarto de secado	Rotura de cableado	Rotura	Cortocircuito	Paro operacional	5	5	6	150	Supervisión y limpieza constante de cableados y evitar exposición a medios externos que supongan un riesgo a su funcionalidad

Tabla 111: Matriz AMFE del cuarto de secado (continuación).

Nº	Descripción del componente	Función del componente	Falla funcional	Modo de fallo	Causa Raíz	Efecto	G	F	D	IPR	Recomendación
3	Interruptores ON/OFF de ventiladores	Encender o apagar los ventiladores superiores del cuarto de secado	Rotura o desgaste de interruptor	Rotura/ desgaste	Desgaste propio del accionamiento del interruptor	Paro operacional	4	3	6	72	Correcta manipulación del interruptor de accionamiento de ventiladores
4	Interruptores ON/OFF de luces	Encender o apagar las luces internas del cuarto de secado	Rotura o desgaste de interruptor	Rotura/ desgaste	Desgaste propio del accionamiento del interruptor	Paro operacional	4	3	6	72	Correcta manipulación del interruptor ON/OFF de luces
5	Lámparas LED	Iluminar internamente el cuarto de secado	Lámpara LED no enciende	Cortocircuito	Disminución de la vida útil de la lámpara por mala manipulación	Paro operacional	3	5	2	30	Limpieza periódica y adecuada de terminales de conexión de las lámparas
6	Filtro de aire comprimido	Purgar el aire proveniente del compresor	Obstrucción en el paso del aire	Obstrucción	Partículas e impurezas taponadas	Deficiente caudal de aire en tuberías hasta taponamiento.	5	4	4	80	Limpieza periódica del filtro de aire
7	Llave de paso de aire comprimido	Regular el paso de aire comprimido a las tuberías de conexión del cuarto de secado	Daño del mecanismo regulador de la llave de paso	Avería/ Rotura	Desgaste causado por el funcionamiento cotidiano	Paro operacional	5	4	5	100	Supervisión constante del estado de la llave de paso de aire comprimido

N°	Descripción del componente	Función del componente	Falla funcional	Modo de fallo	Causa Raíz	Efecto	G	F	D	IPR	Recomendación
8	Tuberías de aire comprimido	Permitir la circulación y distribución del aire comprimido en el cuarto de secado	Rotura y fuga de aire a lo largo de la tubería	Rotura	Desgaste causado por contactos externos	Paro operacional	5	6	5	150	Revisión constante de estados de tubería a lo largo del cuarto de secado
9	Estructura	Soportar las piezas y objetos pintados o de fibra a secarse	Rotura y mal estado de estructuras de soporte	Rotura	Desgaste propio de la utilización diaria	Ausencia de soportes que faciliten el proceso de secado	2	2	1	4	Montaje y desmontaje adecuado de acoples y adaptadores al iniciar y terminar el funcionamiento de la máquina
10	Ventiladores	Generar la entrada de un flujo de aire continuo para ayudar a secar partes y elementos.	Rotura de las aspas de ventilación	Rotura	Desgaste propio del funcionamiento	Paro operacional	3	4	3	36	Revisión diaria de estado de aspas de ventilación y limpieza frecuente

Tabla 111: Matriz AMFE del cuarto de secado (continuación).

N°	Descripción del componente	Función del componente	Falla funcional	Modo de fallo	Causa Raíz	Efecto	G	F	D	IPR	Recomendación
11	Rejillas de ventilación	Permitir la entrada y salida de aire del cuarto de secado sin presencia de partículas.	Rotura de rejillas de ventilación	Rotura	Acumulación de escombros y residuos de procesos de producción	Deficiente ventilación al interior del cuarto de secado	3	3	3	27	Limpieza constante de rejillas de ventilación
12	Puerta movediza	Permitir el ingreso o salida de partes, componentes y operarios al cuarto de secado.	Atascamiento de rieles con guías de la puerta	Atascamiento	Deficiente lubricación entre riel y guía de la puerta movediza	Exposición de elementos del cuarto de secado a partículas volátiles	6	6	3	108	Revisión constante y engrase adecuado en tiempos planificado evitando inconvenientes
13	Ventana	Visualizar el interior del cuarto de secado	Rotura del cristal de la ventana	Rotura	Exposición de los cristales a elementos del entorno	Exposición a partículas del entorno	3	2	2	12	Protección de la superficie de la ventana
14	Pernos de sujeción	Sujetar a componentes de las estructuras del cuarto de secado	Oxidación de los pernos	Desgaste	Corrosión	Inadecuada sujeción de componentes internos	4	5	4	80	Limpieza adecuada de pernos del cuarto de secado
Promedio										66,64	

Análisis de criticidad del Cuarto de secado

Tabla 112: Cálculo de Criticidad del Cuarto de secado


		Universidad Técnica de Ambato								Estado de criticidad
		Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica								
		Carrera de Ingeniería Mecánica								
Cuarto de secado		Código:		MATRIZ DE CRITICIDAD		CÁLCULO DE CRITICIDAD CON FORMULA				
N°	ELEMENTOS	Registro N°	01	HOJA N°	01 DE 01	FFF	CONSECUENCIA	CRITICIDAD		
		IP	FO	CM	SAH					
1	Caja de mando	8	2	1	1	1	18	18	NC	
2	Cableado eléctrico	5	1	1	1	2	7	14	NC	
3	Interruptores ON/OFF de ventiladores	8	1	1	10	2	19	38	C	
4	Interruptores ON/OFF de luces	8	1	1	2	2	11	22	NC	
5	Lámparas LED	5	2	4	2	2	16	32	SC	
6	Filtro de aire comprimido	8	2	4	10	2	30	60	C	
7	Llave de paso de aire comprimido	5	2	1	1	2	12	24	NC	
8	Tuberías de aire comprimido	5	2	1	1	1	12	12	NC	
9	Estructura	10	2	4	10	2	34	68	C	
10	Ventiladores	8	2	4	10	2	30	60	C	
11	Rejillas de ventilación	8	2	1	10	1	27	27	SC	
12	Puerta movediza	5	1	1	10	2	16	32	SC	
13	Ventana	5	1	1	10	1	16	16	NC	
14	Pernos de sujeción	5	1	1	1	2	7	14	NC	
PROMEDIO DE CRITICIDAD						1.7	18.2	31.2		
		NOMBRE:			FECHA:					
REALIZÓ:		Steven Vargas								
VERIFICÓ:		Ing. Mg Christian Castro								
VALIDÓ:		Ing. Mg Christian Castro								

Tabla 113: Matriz de criticidad del Cuarto de secado

FRECUENCIAS DE FALLAS	4					
	3					
	2		Cableado eléctrico Interruptores ON/OFF de luces Pernos de sujeción	Llave de paso de aire comprimido Puerta movediza	Interruptores ON/OFF de ventiladores Lámparas LED	Filtro de aire comprimido Ventiladores
	1	Tuberías de aire comprimido	Caja de mando Ventana	Rejillas de ventilación		
		1 a 12	13 a 24	24 a 36	37 a 48	49 a 60
		CONSECUENCIA				

Modelo matemático del cuarto de secado

Tabla 114: Datos estadísticos del cuarto de secado

Actividad	Nº de falla	TO (h)	ln (To)
1	1	43	3,7612
2	1	50	3,9120
3	1	35	3,5553
4	1	25	3,2189
5	1	28	3,3322
6	1	53	3,9703
7	1	32	3,4657
8	1	24	3,1781
9	1	20	2,9957
10	1	50	3,9120
11	1	28	3,3322
12	1	35	3,5553
13	1	30	3,4012
14	1	45	3,8067
15	1	25	3,2189
16	1	25	3,2189
17	1	42	3,7377
18	1	30	3,4012
19	1	35	3,5553
20	1	50	3,9120
21	1	32	3,4657
22	1	30	3,4012
23	1	34	3,5264
24	1	42	3,7377
25	1	53	3,9703
26	1	32	3,4657

Tabla 115: Datos estadísticos del cuarto de secado (continuacion).

27	1	28	3,3322
28	1	35	3,5553
29	1	30	3,4012
30	1	50	3,9120
31	1	38	3,6376
32	1	42	3,7377
33	1	28	3,3322
34	1	45	3,8067
35	1	30	3,4012
36	1	35	3,5553
Total	36		127,68

Tabla 116: Datos calculados para obtener el valor de la varianza del cuarto de secado.

Actividad	N° de falla	TO (h)	$\ln(To)$	$(\ln(To) - \bar{x})^2$
1	1	43	3,7612	0,0460
2	1	50	3,9120	0,1335
3	1	35	3,5553	0,0001
4	1	25	3,2189	0,1074
5	1	28	3,3322	0,0460
6	1	53	3,9703	0,1795
7	1	32	3,4657	0,0065
8	1	24	3,1781	0,1359
9	1	20	2,9957	0,3035
10	1	50	3,9120	0,1335
11	1	28	3,3322	0,0460
12	1	35	3,5553	0,0001
13	1	30	3,4012	0,0212
14	1	45	3,8067	0,0676
15	1	25	3,2189	0,1074
16	1	25	3,2189	0,1074
17	1	42	3,7377	0,0365
18	1	30	3,4012	0,0212
19	1	35	3,5553	0,0001
20	1	50	3,9120	0,1335
21	1	32	3,4657	0,0065
22	1	30	3,4012	0,0212

Tabla 117: Datos calculados para obtener el valor de la varianza del cuarto de secado (continuación).

23	1	34	3,5264	0,0004
24	1	42	3,7377	0,0365
25	1	53	3,9703	0,1795
26	1	32	3,4657	0,0065
27	1	28	3,3322	0,0460
28	1	35	3,5553	0,0001
29	1	30	3,4012	0,0212
30	1	50	3,9120	0,1335
31	1	38	3,6376	0,0083
32	1	42	3,7377	0,0365
33	1	28	3,3322	0,0460
34	1	45	3,8067	0,0676
35	1	30	3,4012	0,0212
36	1	35	3,5553	0,0001
Total	36		127,68	2,2638

Tabla 118: Datos calculados en base a estadísticos del cuarto de secado

Parámetros calculados	
<i>Media</i> (\bar{x})	3,5466
<i>Varianza</i> (S^2)	0,0647
<i>Desviación</i> (S)	0,2543
<i>Parámetro de forma</i> (β)	5,0431
<i>Parámetro de escala</i> (α)	38,9042
<i>Parámetro de localización</i> (γ)	0

Tabla 119: Cálculos de fiabilidad e in fiabilidad del cuarto de secado

Actividad	N° de falla	TO (h)	$\ln(To)$	$(\ln(To) - \bar{x})^2$	$R(t)$	$R(t)\%$	$F(t)$	$F(t)\%$
1	1	43	3,7612	0,0460	0,3632	36,3178	0,6368	63,6822
2	1	50	3,9120	0,1335	0,3396	33,9648	0,6604	66,0352
3	1	35	3,5553	0,0001	0,3797	37,9683	0,6203	62,0317
4	1	25	3,2189	0,1074	0,3922	39,2235	0,6078	60,7765
5	1	28	3,3322	0,0460	0,4009	40,0922	0,5991	59,9078

Tabla 119: Cálculos de fiabilidad e infiabilidad del cuarto de secado (continuación).

6	1	53	3,9703	0,1795	0,3383	33,8320	0,6617	66,1680
7	1	32	3,4657	0,0065	0,3570	35,6974	0,6430	64,3026
8	1	24	3,1781	0,1359	0,3950	39,5020	0,6050	60,4980
9	1	20	2,9957	0,3035	0,3774	37,7407	0,6226	62,2593
10	1	50	3,9120	0,1335	0,3596	35,9569	0,6404	64,0431
11	1	28	3,3322	0,0460	0,3896	38,9550	0,6104	61,0450
12	1	35	3,5553	0,0001	0,3561	35,6129	0,6439	64,3871
13	1	30	3,4012	0,0212	0,3845	38,4453	0,6155	61,5547
14	1	45	3,8067	0,0676	0,3482	34,8175	0,6518	65,1825
15	1	25	3,2189	0,1074	0,4041	40,4057	0,5959	59,5943
16	1	25	3,2189	0,1074	0,3797	37,9683	0,6203	62,0317
17	1	42	3,7377	0,0365	0,4073	40,7329	0,5927	59,2671
18	1	30	3,4012	0,0212	0,3752	37,5199	0,6248	62,4801
19	1	35	3,5553	0,0001	0,3528	35,2843	0,6472	64,7157
20	1	50	3,9120	0,1335	0,3528	35,2843	0,6472	64,7157
21	1	32	3,4657	0,0065	0,3632	36,3178	0,6368	63,6822
22	1	30	3,4012	0,0212	0,3896	38,9550	0,6104	61,0450
23	1	34	3,5264	0,0004	0,3950	39,5020	0,6050	60,4980
24	1	42	3,7377	0,0365	0,3614	36,1351	0,6386	63,8649
25	1	53	3,9703	0,1795	0,3632	36,3178	0,6368	63,6822
26	1	32	3,4657	0,0065	0,3845	38,4453	0,6155	61,5547
27	1	28	3,3322	0,0460	0,3979	39,7913	0,6021	60,2087
28	1	35	3,5553	0,0001	0,3950	39,5020	0,6050	60,4980
29	1	30	3,4012	0,0212	0,3979	39,7913	0,6021	60,2087
30	1	50	3,9120	0,1335	0,3632	36,3178	0,6368	63,6822
31	1	38	3,6376	0,0083	0,3896	38,9550	0,6104	61,0450
32	1	42	3,7377	0,0365	0,3922	39,2235	0,6078	60,7765
33	1	28	3,3322	0,0460	0,3870	38,6958	0,6130	61,3042
34	1	45	3,8067	0,0676	0,3632	36,3178	0,6368	63,6822
35	1	30	3,4012	0,0212	0,3670	36,6972	0,6330	63,3028
36	1	35	3,5553	0,0001	0,3896	38,9550	0,6104	61,0450

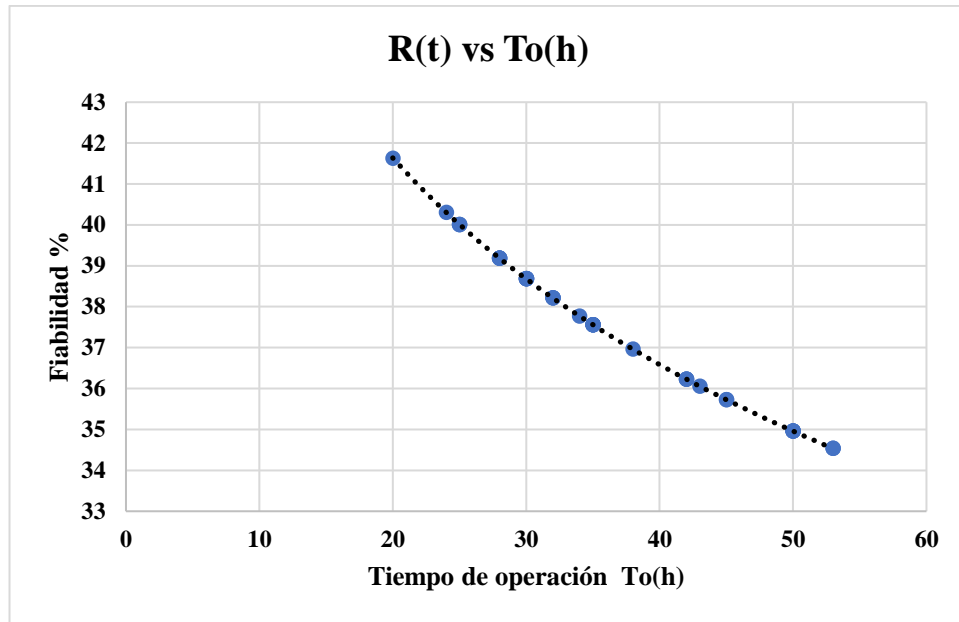


Figura 38: Gráfica de fiabilidad R(t) vs tiempo de operación To del cuarto de secado.

Modelo gráfico de Weibull del cuarto de secado

$$F(i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4}$$

Tabla 120: Datos del porcentaje de falla acumulativa F(i) del cuarto de secado

Número de fallas (i)	To (h)	Rango medio	Porcentaje de fallas acumulativas Fi (%)
1	43	0,0192	1,9231
2	50	0,0467	4,6703
3	35	0,0742	7,4176
4	25	0,1016	10,1648
5	28	0,1291	12,9121
6	53	0,1566	15,6593
7	32	0,1841	18,4066
8	24	0,2115	21,1538
9	20	0,2390	23,9011
10	50	0,2665	26,6484
11	28	0,2940	29,3956
12	35	0,3214	32,1429
13	30	0,3489	34,8901

Tabla 120: Datos del porcentaje de falla acumulativa $F(i)$ del cuarto de secado (continuación).

14	45	0,3764	37,6374
15	25	0,4038	40,3846
16	25	0,4313	43,1319
17	42	0,4588	45,8791
18	30	0,4863	48,6264
19	35	0,5137	51,3736
20	50	0,5412	54,1209
21	32	0,5687	56,8681
22	30	0,5962	59,6154
23	34	0,6236	62,3626
24	42	0,6511	65,1099
25	53	0,6786	67,8571
26	32	0,7060	70,6044
27	28	0,7335	73,3516
28	35	0,7610	76,0989
29	30	0,7885	78,8462
30	50	0,8159	81,5934
31	38	0,8434	84,3407
32	42	0,8709	87,0879
33	28	0,8984	89,8352
34	45	0,9258	92,5824
35	30	0,9533	95,3297
36	35	0,9808	98,0769

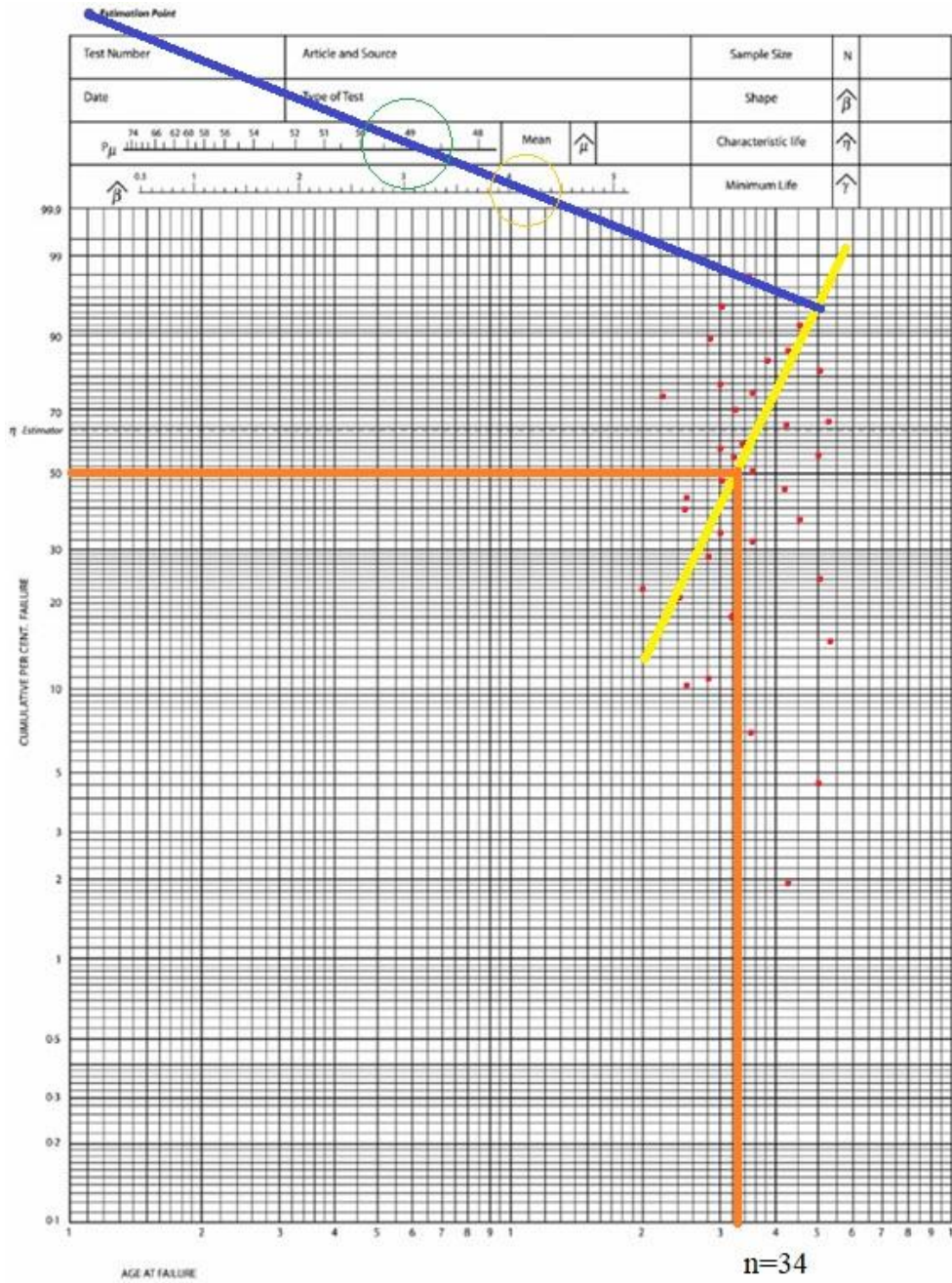


Figura 39: Papel de Weibull para el cuarto de secado.

Mediante el método gráfico se estiman los siguientes valores.

Tabla 121: Parámetros del cuarto de secado

P_u	49
β	4,5
n	34

Tabla 122: Cálculo de la fiabilidad del cuarto de secado mediante el método gráfico de Weibull.

Número de fallas (<i>i</i>)	<i>T_o</i> (h)	Rango medio	Porcentaje de fallas acumulativas <i>Fi</i> (%)	<i>R(t)</i>	<i>R(t)</i> %
1	43	0,0192	1,9231	0,0563	5,6299
2	50	0,0467	4,6703	0,0034	0,3442
3	35	0,0742	7,4176	0,3200	32,0032
4	25	0,1016	10,1648	0,7783	77,8291
5	28	0,1291	12,9121	0,6588	65,8755
6	53	0,1566	15,6593	0,0006	0,0629
7	32	0,1841	18,4066	0,4671	46,7088
8	24	0,2115	21,1538	0,8117	81,1727
9	20	0,2390	23,9011	0,9123	91,2261
10	50	0,2665	26,6484	0,0034	0,3442
11	28	0,2940	29,3956	0,6588	65,8755
12	35	0,3214	32,1429	0,3200	32,0032
13	30	0,3489	34,8901	0,5659	56,5885
14	45	0,3764	37,6374	0,0293	2,9299
15	25	0,4038	40,3846	0,7783	77,8291
16	25	0,4313	43,1319	0,7783	77,8291
17	42	0,4588	45,8791	0,0752	7,5169
18	30	0,4863	48,6264	0,5659	56,5885
19	35	0,5137	51,3736	0,3200	32,0032
20	50	0,5412	54,1209	0,0034	0,3442
21	32	0,5687	56,8681	0,4671	46,7088
22	30	0,5962	59,6154	0,5659	56,5885
23	34	0,6236	62,3626	0,3679	36,7879
24	42	0,6511	65,1099	0,0752	7,5169
25	53	0,6786	67,8571	0,0006	0,0629
26	32	0,7060	70,6044	0,4671	46,7088
27	28	0,7335	73,3516	0,6588	65,8755
28	35	0,7610	76,0989	0,3200	32,0032

Tabla 123: Cálculo de la fiabilidad del cuarto de secado mediante el método gráfico de Weibull (continuación).

Número de fallas (i)	T_o (h)	Rango medio	Porcentaje de fallas acumulativas F_i (%)	$R(t)$	$R(t)\%$
29	30	0,7885	78,8462	0,5659	56,5885
30	50	0,8159	81,5934	0,0034	0,3442
31	38	0,8434	84,3407	0,1921	19,2132
32	42	0,8709	87,0879	0,0752	7,5169
33	28	0,8984	89,8352	0,6588	65,8755
34	45	0,9258	92,5824	0,0293	2,9299
35	30	0,9533	95,3297	0,5659	56,5885
36	35	0,9808	98,0769	0,3200	32,0032

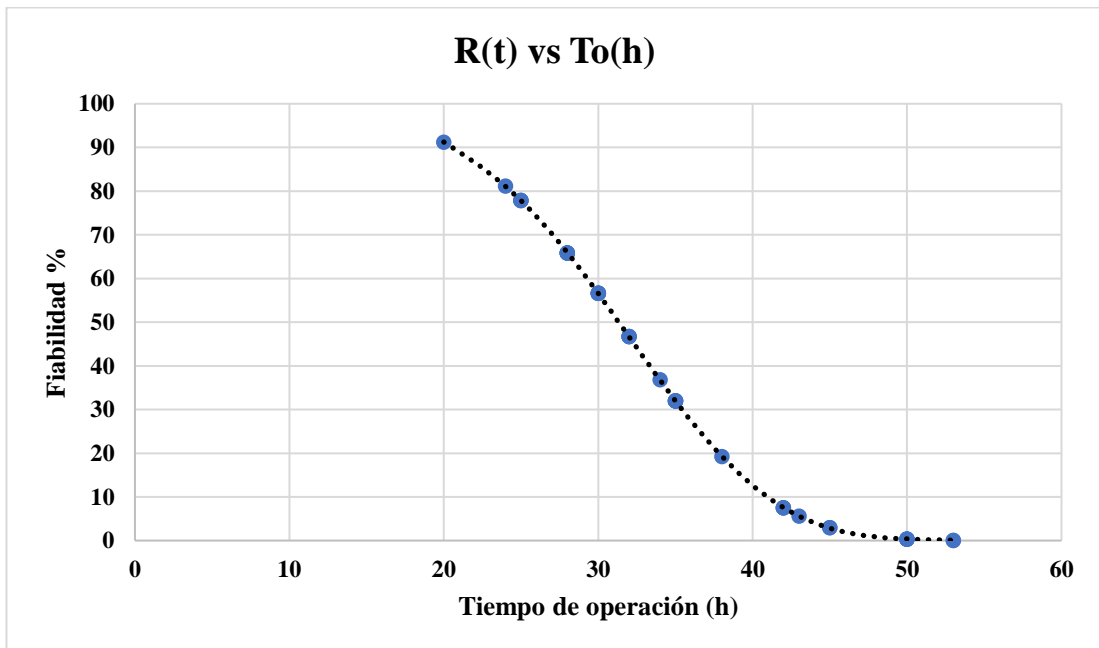


Figura 40: Gráfica de Fiabilidad vs Tiempo de operación del cuarto de secado.

Gamas de mantenimiento

Tabla 124: Gama de mantenimiento de enero del cuarto de secado

Máquina	Actividades	Estado		ENERO																																				
		Encendido	Apagado	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes						
				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	26	27	28	29	30	31						
Cuarto de secado	Controlar la sujeción, ajuste y estado de pernos		x																																					
	Control de los cables de conexión eléctrica		x																																					
	Control de los interruptores de ON/OFF de luces		x																																					
	Control de los interruptores de ON/OFF de los ventiladores		x																																					
	Control del funcionamiento de los ventiladores	x																																						
	Revisión del estado de las aspas de los ventiladores		x																																					
	Reemplazo de filtro		x																																					
	Reemplazo de lámparas LED		x																																					
	Control de la llave de paso de aire comprimido		x																																					
	Revisión de estado general de estructura interna		x																																					
	Limpieza general del cuarto de secado		x																																					
	Limpieza de las rejillas de ventilación		x																																					
	Limpieza de ventanas		x																																					
	Limpieza de puerta		x																																					
	Limpieza de aspas de ventiladores		x																																					
	Limpieza de soportes portaobjetos internos		x																																					
	Engrase de rieles de puerta corrediza		x																																					

Tabla 125: Gama de mantenimiento de febrero del cuarto de secado

Máquina	Actividades	Estado		FEBRERO																																
		Encendido	Apagado	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes					
				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	26	27	28					
Mezcladora MK 160 Collomix Xo6R	Controlar la sujeción, ajuste y estado de pernos		x																																	
	Control de los cables de conexión eléctrica		x																																	
	Control de los interruptores de ON/OFF de luces		x																																	
	Control de los interruptores de ON/OFF de los ventiladores		x																																	
	Control del funcionamiento de los ventiladores	x																																		
	Revisión del estado de las aspas de los ventiladores		x																																	
	Reemplazo de filtro		x																																	
	Reemplazo de lámparas LED		x																																	
	Control de la llave de paso de aire comprimido		x																																	
	Revisión de estado general de estructura interna		x																																	
	Limpieza general del cuarto de secado		x																																	
	Limpieza de las rejillas de ventilación		x																																	
	Limpieza de ventanas		x																																	
	Limpieza de puerta		x																																	
	Limpieza de aspas de ventiladores		x																																	
	Limpieza de soportes portaobjetos internos		x																																	
Engrase de rieles de puerta corrediza		x																																		

Tabla 126: Gama de mantenimiento de marzo del cuarto de secado

Máquina	Actividades	Estado		MARZO																																		
		Encendido	Apagado	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves				
				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	26	27	28	29	30	31				
Cuarto de secado	Controlar la sujeción, ajuste y estado de pernos	x																																				
	Control de los cables de conexión eléctrica	x																																				
	Control de los interruptores de ON/OFF de luces	x																																				
	Control de los interruptores de ON/OFF de los ventiladores	x																																				
	Control del funcionamiento de los ventiladores	x																																				
	Revisión del estado de las aspas de los ventiladores	x																																				
	Reemplazo de filtro	x																																				
	Reemplazo de lámparas LED	x																																				
	Control de la llave de paso de aire comprimido	x																																				
	Revisión de estado general de estructura interna	x																																				
	Limpieza general del cuarto de secado	x																																				
	Limpieza de las rejillas de ventilación	x																																				
	Limpieza de ventanas	x																																				
	Limpieza de puerta	x																																				
	Limpieza de aspas de ventiladores	x																																				
	Limpieza de soportes portaobjetos internos	x																																				
	Engrase de rieles de puerta corrediza	x																																				

Tabla 127: Gama de mantenimiento de abril del cuarto de secado

Máquina	Actividades	Estado		ABRIL																																		
		Encendido	Apagado	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado					
				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	26	27	28	29	30					
Cuarto de secado	Controlar la sujeción, ajuste y estado de pernos	x																																				
	Control de los cables de conexión eléctrica	x																																				
	Control de los interruptores de ON/OFF de luces	x																																				
	Control de los interruptores de ON/OFF de los ventiladores	x																																				
	Control del funcionamiento de los ventiladores	x																																				
	Revisión del estado de las aspas de los ventiladores	x																																				
	Reemplazo de filtro	x																																				
	Reemplazo de lámparas LED	x																																				
	Control de la llave de paso de aire comprimido	x																																				
	Revisión de estado general de estructura interna	x																																				
	Limpieza general del cuarto de secado	x																																				
	Limpieza de las rejillas de ventilación	x																																				
	Limpieza de ventanas	x																																				
	Limpieza de puerta	x																																				
	Limpieza de aspas de ventiladores	x																																				
	Limpieza de soportes portaobjetos internos	x																																				
	Engrase de rieles de puerta corrediza	x																																				

Tabla 128: Gama de mantenimiento de mayo del cuarto de secado

Máquina	Actividades	Estado		MAYO																																			
		Encendido	Apagado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes					
				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	26	27	28	29	30	31					
Cuarto de secado	Controlar la sujeción, ajuste y estado de pernos		x																																				
	Control de los cables de conexión eléctrica		x																																				
	Control de los interruptores de ON/OFF de luces		x																																				
	Control de los interruptores de ON/OFF de los ventiladores		x																																				
	Control del funcionamiento de los ventiladores	x																																					
	Revisión del estado de las aspas de los ventiladores		x																																				
	Reemplazo de filtro		x																																				
	Reemplazo de lámparas LED		x																																				
	Control de la llave de paso de aire comprimido		x																																				
	Revisión de estado general de estructura interna		x																																				
	Limpieza general del cuarto de secado		x																																				
	Limpieza de las rejillas de ventilación		x																																				
	Limpieza de ventanas		x																																				
	Limpieza de puerta		x																																				
	Limpieza de aspas de ventiladores		x																																				
	Limpieza de soportes portaobjetos internos		x																																				
	Engrase de rieles de puerta corrediza		x																																				

Tabla 129: Gama de mantenimiento de junio del cuarto de secado

Máquina	Actividades	Estado		JUNIO																																	
		Encendido	Apagado	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves				
				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	26	27	28	29	30				
Cuarto de secado	Controlar la sujeción, ajuste y estado de pernos		x																																		
	Control de los cables de conexión eléctrica		x																																		
	Control de los interruptores de ON/OFF de luces		x																																		
	Control de los interruptores de ON/OFF de los ventiladores		x																																		
	Control del funcionamiento de los ventiladores	x																																			
	Revisión del estado de las aspas de los ventiladores		x																																		
	Reemplazo de filtro		x																																		
	Reemplazo de lámparas LED		x																																		
	Control de la llave de paso de aire comprimido		x																																		
	Revisión de estado general de estructura interna		x																																		
	Limpieza general del cuarto de secado		x																																		
	Limpieza de las rejillas de ventilación		x																																		
	Limpieza de ventanas		x																																		
	Limpieza de puerta		x																																		
	Limpieza de aspas de ventiladores		x																																		
	Limpieza de soportes portaobjetos internos		x																																		
	Engrase de rieles de puerta corrediza		x																																		

Tabla 130: Gama de mantenimiento de julio del cuarto de secado

Máquina	Actividades	Estado		JULIO																																				
		Encendido	Apagado	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo						
				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	26	27	28	29	30	31						
Cuarto de secado	Controlar la sujeción, ajuste y estado de pernos		x																																					
	Control de los cables de conexión eléctrica		x																																					
	Control de los interruptores de ON/OFF de luces		x																																					
	Control de los interruptores de ON/OFF de los ventiladores		x																																					
	Control del funcionamiento de los ventiladores	x																																						
	Revisión del estado de las aspas de los ventiladores		x																																					
	Reemplazo de filtro		x																																					
	Reemplazo de lámparas LED		x																																					
	Control de la llave de paso de aire comprimido		x																																					
	Revisión de estado general de estructura interna		x																																					
	Limpieza general del cuarto de secado		x																																					
	Limpieza de las rejillas de ventilación		x																																					
	Limpieza de ventanas		x																																					
	Limpieza de puerta		x																																					
	Limpieza de aspas de ventiladores		x																																					
	Limpieza de soportes portaobjetos internos		x																																					
	Engrase de rieles de puerta corrediza		x																																					

Tabla 131: Gama de mantenimiento de agosto del cuarto de secado

Máquina	Actividades	Estado		AGOSTO																																	
		Encendido	Apagado	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles			
				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	26	27	28	29	30	31			
Cuarto de secado	Controlar la sujeción, ajuste y estado de pernos		x																																		
	Control de los cables de conexión eléctrica		x																																		
	Control de los interruptores de ON/OFF de luces		x																																		
	Control de los interruptores de ON/OFF de los ventiladores		x																																		
	Control del funcionamiento de los ventiladores		x																																		
	Revisión del estado de las aspas de los ventiladores		x																																		
	Reemplazo de filtro		x																																		
	Reemplazo de lámparas LED		x																																		
	Control de la llave de paso de aire comprimido		x																																		
	Revisión de estado general de estructura interna		x																																		
	Limpieza general del cuarto de secado		x																																		
	Limpieza de las rejillas de ventilación		x																																		
	Limpieza de ventanas		x																																		
	Limpieza de puerta		x																																		
	Limpieza de aspas de ventiladores		x																																		
	Limpieza de soportes portaobjetos internos		x																																		
	Engrase de rieles de puerta corrediza		x																																		

Tabla 132: Gama de mantenimiento de septiembre del cuarto de secado

Máquina	Actividades	Estado		SEPTIEMBRE																																
		Encendido	Apagado	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes			
				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	26	27	28	29	30			
Cuarto de secado	Controlar la sujeción, ajuste y estado de pernos		x																																	
	Control de los cables de conexión eléctrica		x																																	
	Control de los interruptores de ON/OFF de luces		x																																	
	Control de los interruptores de ON/OFF de los ventiladores		x																																	
	Control del funcionamiento de los ventiladores	x																																		
	Revisión del estado de las aspas de los ventiladores		x																																	
	Reemplazo de filtro		x																																	
	Reemplazo de lámparas LED		x																																	
	Control de la llave de paso de aire comprimido		x																																	
	Revisión de estado general de estructura interna		x																																	
	Limpieza general del cuarto de secado		x																																	
	Limpieza de las rejillas de ventilación		x																																	
	Limpieza de ventanas		x																																	
	Limpieza de puerta		x																																	
	Limpieza de aspas de ventiladores		x																																	
	Limpieza de soportes portaobjetos internos		x																																	
	Engrase de rieles de puerta corrediza		x																																	

Tabla 133: Gama de mantenimiento de octubre del cuarto de secado

Máquina	Actividades	Estado		OCTUBRE																																						
		Encendido	Apagado	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes								
				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	26	27	28	29	30	31								
Cuarto de secado	Controlar la sujeción, ajuste y estado de pernos		x																																							
	Control de los cables de conexión eléctrica		x																																							
	Control de los interruptores de ON/OFF de luces		x																																							
	Control de los interruptores de ON/OFF de los ventiladores		x																																							
	Control del funcionamiento de los ventiladores	x																																								
	Revisión del estado de las aspas de los ventiladores		x																																							
	Reemplazo de filtro		x																																							
	Reemplazo de lámparas LED		x																																							
	Control de la llave de paso de aire comprimido		x																																							
	Revisión de estado general de estructura interna		x																																							
	Limpieza general del cuarto de secado		x																																							
	Limpieza de las rejillas de ventilación		x																																							
	Limpieza de ventanas		x																																							
	Limpieza de puerta		x																																							
	Limpieza de aspas de ventiladores		x																																							
	Limpieza de soportes portaobjetos internos		x																																							
Engrase de rieles de puerta corrediza		x																																								

Tabla 134: Gama de mantenimiento de noviembre del cuarto de secado


Máquina	Actividades	Estado		NOVIEMBRE																																			
		Encendido	Apagado	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles						
				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	26	27	28	29	30						
Cuarto de secado	Controlar la sujeción, ajuste y estado de pernos		x																																				
	Control de los cables de conexión eléctrica		x																																				
	Control de los interruptores de ON/OFF de luces		x																																				
	Control de los interruptores de ON/OFF de los ventiladores		x																																				
	Control del funcionamiento de los ventiladores	x																																					
	Revisión del estado de las aspas de los ventiladores		x																																				
	Reemplazo de filtro		x																																				
	Reemplazo de lámparas LED		x																																				
	Control de la llave de paso de aire comprimido		x																																				
	Revisión de estado general de estructura interna		x																																				
	Limpieza general del cuarto de secado		x																																				
	Limpieza de las rejillas de ventilación		x																																				
	Limpieza de ventanas		x																																				
	Limpieza de puerta		x																																				
	Limpieza de aspas de ventiladores		x																																				
	Limpieza de soportes portaobjetos internos		x																																				
Engrase de rieles de puerta corrediza		x																																					

Tabla 135: Gama de mantenimiento de diciembre del cuarto de secado

Máquina	Actividades	Estado		DICIEMBRE																																				
		Encendido	Apagado	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado						
				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	26	27	28	29	30	31						
Cuarto de secado	Controlar la sujeción, ajuste y estado de pernos		x																																					
	Control de los cables de conexión eléctrica		x																																					
	Control de los interruptores de ON/OFF de luces		x																																					
	Control de los interruptores de ON/OFF de los ventiladores		x																																					
	Control del funcionamiento de los ventiladores	x																																						
	Revisión del estado de las aspas de los ventiladores		x																																					
	Reemplazo de filtro		x																																					
	Reemplazo de lámparas LED		x																																					
	Control de la llave de paso de aire comprimido		x																																					
	Revisión de estado general de estructura interna		x																																					
	Limpieza general del cuarto de secado		x																																					
	Limpieza de las rejillas de ventilación		x																																					
	Limpieza de ventanas		x																																					
	Limpieza de puerta		x																																					
	Limpieza de aspas de ventiladores		x																																					
	Limpieza de soportes portaobjetos internos		x																																					
Engrase de rieles de puerta corrediza		x																																						

3.1.9. Resumen e Interpretación del AMFE del Área de fibra de vidrio


Tabla 136: Resumen AMFE del Área de fibra de vidrio

			Universidad Técnica de Ambato			
			Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica			
			Carrera de Ingeniería Mecánica			
N°	MÁQUINA O EQUIPO	Número de Componentes Total	Componentes IPR >100		Componentes IPR <100	
			Número de Componentes	Porcentaje %	Número de Componentes	Porcentaje %
1	Mezcladora MK 160 Collomix Xo6R	9	4	134,3	5	35,6
2	Compresor de aire de tornillo	28	5	109,8	23	53
3	Aspersor de fibra de vidrio	20	3	113,3	17	28,9
4	Cuarto de secado	14	4	127	10	42,5
			NOMBRE:			
REALIZÓ:			Steven Vargas			
VERIFICÓ:			Ing. Mg Christian Castro			
VALIDÓ:			Ing. Mg Christian Castro			

En resumen la matriz AMFE Tabla 136, se puede observar que la mayoría de elementos o componentes de las máquinas del Área de Fibra de vidrio se mantienen por debajo del 100% de IPR, por lo que según la NTP 679 los riesgos se los consideran críticos cuando el Índice de Prioridad de riesgo IPR tiene un valor mayor a 100, por lo que para los pocos elementos que superan el IPR es necesario realizar una corrección o mejoramientos para reducir este índice.

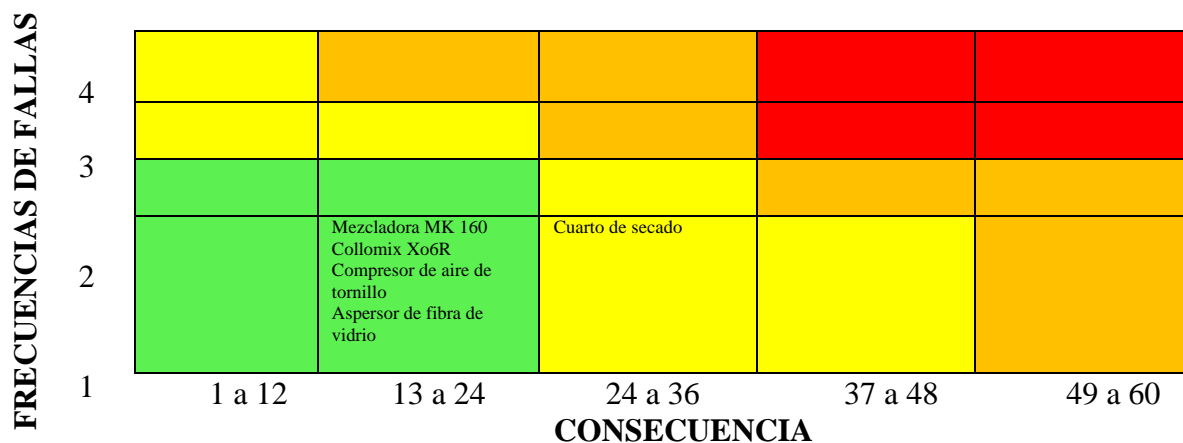
3.1.10. Resumen e Interpretación del análisis de Criticidad del Área de fibra de vidrio

Tabla 137: Resumen Matriz de Criticidad del Área de fibra de vidrio

		Universidad Técnica de Ambato			Estado de criticidad
		Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica			
		Carrera de Ingeniería Mecánica			
N°	MÁQUINA O EQUIPO	CALCULO DE CRITICIDAD CON FORMULA			
		FFF	CONSECUENCIA	CRITICIDAD	
1	Mezcladora MK 160 Collomix Xo6R	1,2	20,6	23	NC
2	Compresor de aire de tornillo	1,1	20,7	21,4	NC
3	Aspersor de fibra de vidrio	1,1	19,3	21,6	NC
4	Cuarto de secado	1,7	18,2	31,2	SC
		NOMBRE:	FECHA:		
REALIZÓ:		Steven Vargas			
VERIFICÓ:		Ing. Mg Christian Castro			
VALIDÓ:		Ing. Mg Christian Castro			

En el resumen en general de la matriz de criticidad de las máquinas de fibra de vidrio se observa en la tabla 137 que mezcladora MK 160 Collomix Xo6R, compresor de aire de tornillo, aspersor de fibra de vidrio se encuentran en un estado no crítico y el cuarto de secado se encuentra en un estado semicrítico.

Tabla 138: Matriz de criticidad del Área de Fibra de vidrio



CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

Se desarrollaron fichas técnicas de cada una de las máquinas que se encuentran en el área de fibra de vidrio fundamentadas en condiciones de trabajo, especificaciones técnicas y manual del fabricante, también mediante el trabajo de campo se obtuvo información de las principales fallas que poseen los componentes y consecuencias que pueden producir en cada una de las máquinas.

Una vez realizada la matriz AMFE se determinó el estado actual de la maquinaria del área de fibra de vidrio, según lo especificado en la NTP 679, en la cual se rige al valor calculado del índice de prioridad de riesgos IPR, en donde los valores que superen la escala de 100 se señalaron con un color rojo, obteniendo como resultado la Mezcladora MK 160 Collomix Xo6R con 4 componentes más críticos con un porcentaje promedio de IPR igual a 134,3%, el compresor de tornillo con 5 componentes más críticos con un porcentaje promedio de IPR=109,8%, el aspersor de fibra con 3 componentes más críticos con un porcentaje promedio de IPR=113,3%, finalmente el cuarto de secado con 4 componentes más críticos con un porcentaje promedio de IPR=127%.

El compresor de tornillo tiene componentes más propensos a una falla (compresor, colector de condensado, regulador, contactor y convertidor de frecuencia) esto se debe al estar en un ambiente en donde existen densas partículas de fibra de vidrio, estos pueden llegar a influir en el correcto funcionamiento de sus sistemas, causando una para y afectando a la producción. En segundo lugar con un alto índice de componentes tenemos al cuarto de secado (el cableado eléctrico, llave de paso de aire, tuberías y puerta movediza) ya que es una maquina fabricada artesanalmente en la empresa.

La matriz de criticidad permite jerarquizar los componentes en función de su impacto de falla, esta matriz no es reglamentaria por lo que se adapta a las necesidades y criterios de la empresa, como resultado se obtuvo que tres máquinas se encuentran en un rango de criticidad no crítico con un valor promedio de 22 y el cuarto de secado de encuentra en un rango de criticidad semicrítico con un valor de 31,2, las máquinas no están dentro de la zona considerada como crítica, esto en base al poco tiempo de uso

que tienen en la empresa, a las actividades preventivas y de limpieza que se aplican en las mismas por parte de los operarios.

Se determinó la fiabilidad de la maquinaria del área de fibra de vidrio mediante el método analítico y el método gráfico de la distribución de Weibull, con la aplicación de fórmulas estadísticas según lo detalla la NTP 331, obteniendo como resultado una fiabilidad general de 63.81 % de todas las máquinas en un tiempo de operación de 40 horas semanales. En el desarrollo de los modelos de distribución de Weibull se obtienen valores del parámetro de forma $\beta > 1$ para todas las máquinas, que según indica la norma condiciona a que el mantenimiento a desarrollarse debe ser de tipo preventivo por lo que se estructuró las gamas de mantenimiento para cada una de las máquinas mismas que permiten dar registro y seguimiento de las actividades preventivas de mantenimiento según su criticidad identificada en cálculos.

En la empresa Carrocerías Varma S.A no existía un plan de mantenimiento para el área de fibra de vidrio, por lo que este plan de mantenimiento es importante por el alto valor que tiene el compresor de tornillo y el aspersor de fibra de vidrio, alcanzando como resultado un plan de mantenimiento preventivo propuesto en el presente trabajo con la finalidad de obtener el mayor rédito en las máquinas en cuanto a disponibilidad y vida útil se refiere.

4.2. Recomendaciones

La información obtenida y los estadísticos de cada máquina deben ser lo más reciente y reales posibles para garantizar un adecuado desarrollo de las matrices de criterios ponderas para la determinación del estado actual de las máquinas para su posterior análisis y elaboración de gamas de mantenimiento con sus respectivas actividades de mantenimiento, limpieza y lubricación.

En el control y seguimiento de la maquinaria disponible en la empresa y en especial en el área de fibra de vidrio se recomienda llevar un inventario general y una ficha técnica para cada máquina con las especificaciones y características propias de sus principales componentes a manera de información respaldo que pueda servir ante paras operacionales para actividades de mantenimiento.

Para el aspersor de fibra de vidrio se recomienda cubrirlo con un cobertor cuando no se lo esté utilizando, ya que en el área de fibra de vidrio existen densas partículas que se pueden impregnar en los mecanismos de los brazos de la máquina.

Supervisar en todo momento el mantenimiento del compresor de tornillo que efectivamente se coloquen elementos nuevos y en buen estado, además se verifica que se realice una limpieza general del compresor y sus partes.

Desarrollar un software para optimizar las tareas y llevar de una manera más ordenada y eficiente el mantenimiento preventivo en las máquinas del área de fibra de vidrio.

En la elaboración del método numérico de la distribución de Weibull para el cálculo de los parámetros que determinan la fiabilidad y el posterior tipo de mantenimiento a emplearse utilizar hojas de cálculo que reduzcan los tiempos en el análisis en cada una de las máquinas del área de fibra de vidrio.

La realización de mantenimiento se debe hacer con el uso de protección personal como son: casco, overol, guantes y gafas de protección, y supervisar en todo momento la ejecución del mantenimiento.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Milanes and W. Florez, "Diseño de un plan de mantenimiento preventivo en los sistemas de instrumentación y control de la empresa Aguas de Cartagena E.S.P.," Tesis de grado, Fac. de Ing., Cartagena, 2020. Disponible en <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/2625>.
- [2] E. Rodríguez, S. Vásquez and W. Valencia, "Plan de gestión de mantenimiento preventivo para la Empresa Ingesa – Cajamarca 2018," Tesis de grado, Fac. de Ing., Universidad César Vallejo, Cajamarca, 2018. Disponible en <https://hdl.handle.net/20.500.12692/36588>.
- [3] F. Freire, "Desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo y predictivo mediante la distribución de WEIBULL para las Inyectoras horizontales de polímeros en la empresa Ingeniería Diseño de Suelas," Tesis de grado, Fac. de Ing. Civil y Mec., Univ. Téc. de Ambato, 2019. Disponible en <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/30012>.
- [4] J. Ramos, "Aumento de la Disponibilidad Mediante la Implementación de un Plan de Mantenimiento Preventivo a las Maquinarias de la Empresa Atlanta Metal drill s.a.c.," Tesis de grado, Fac. de Ing., Univ. Nacional de Trujillo, 2017. Disponible en <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/10142>.
- [5] C. Alavedra, Y. Gastelu, G. Méndez, C. Minaya , B. Pineda, K. Prieto and K. Ríos, "Gestión de mantenimiento preventivo y su relación con la disponibilidad de la flota de camiones 730e Komatsu-2013," *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, no. 34, pp. 11-26, 2016.
- [6] H. Javanmard and A. Koraeizadeh, "Optimizing the preventive maintenance scheduling by genetic algorithm based on cost and reliability in National Iranian Drilling Company," *J Ind Eng Int* 12, p. 509–516, 2016. Available <https://doi.org/10.1007/s40092-016-0155-9>.
- [7] J. González, J. Loyo, M. Á. López , P. Pérez and A. Cruz , "Mantenimiento industrial en máquinas herramientas por medio de AMFE," *Revista Ingeniería Industrial*, no. 17, pp. 2010-211, 2018.

- [8] J. L. Gonzales, "Propuesta de mantenimiento preventivo y planificado para la línea de producción en la empresa Latercer S.A.C.," Tesis de grado, Fac. de Ing., Univ. Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, 2016. Disponible en <http://hdl.handle.net/20.500.12423/830>.
- [9] J. Bravo and J. Quishpe, "La deontología y el mantenimiento industrial," *Revista Eumednet*, p. 4, 2018.
- [10] M. Valbuena and M. Álvarez, "Tipos de mantenimiento realizados en las empresas de distribución de productos metalmecánicos en los municipios cabimas y lagunillas," *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología URBE-REVERCITEC*, vol. 7, no. 1, pp. 65-66, 2017.
- [11] L. Sexto, "Tipos de mantenimiento: ¿cuántos y cuáles son?," *Electromagazine*, pp. 40-44, 2018.
- [12] F. Pérez, *Conceptos generales en la gestión del mantenimiento industrial*, Bucaramanga (Colombia): Ediciones USTA, 2021.
- [13] L. Guañuna, "Ética profesional en el mantenimiento de maquinaria industrial," *Revista eumednet*, p. 2, 2018.
- [14] V. Linares, *Diagnóstico de averías y mantenimiento correctivo de sistemas de automatización industrial ELEM0311.*, IC Editorial, 2018.
- [15] R. Dintén, "Minería de flujos de datos para mantenimiento predictivo en entornos industriales," Tesis de posgrado, Fac. de Ciencias, Universidad de Cantabria, 2021. Disponible en <http://hdl.handle.net/10902/22456>.
- [16] H. Víctor Hugo and R. Víctor Hugo, *Manual de mantenimiento al tablero general eléctrico*, Cuitláhuac, 2018.
- [17] E. Cedeno, L. Arevalo and O. Leon, "Estudio del impacto logístico – técnico que genera el mantenimiento predictivo en las PYMES de Milagro, Ecuador," *JOURNAL OF SCIENCE AND RESEARCH: REVISTA CIENCIA E INVESTIGACION*, vol. 1, no. 2, p. 8, 2016.

- [18] Petroquímica, "Mantenimiento Petroquímica," 2012. [Online]. Available: <https://www.mantenimientopetroquimica.com/tiposdemantenimiento.html>. [Accessed 29 noviembre 2021].
- [19] M. Luna and G. Vázquez, "Metodología de mantenimiento predictivo 4.0 para asegurar procesos de producción," *SISTEMAS, CIBERNÉTICA E INFORMÁTICA*, vol. 16, no. 2, p. 2, 2019.
- [20] J. Del Valle, Plan de mantenimiento al área de cromado, 2018.
- [21] J. Erkoyuncu, I. Fernández , M. Dalle and R. Roy, "Improving efficiency of industrial maintenance with context aware adaptive authoring in augmented reality," *CIRP Annals - Manufacturing Technology-ELSIEVER*, vol. 66, no. 1, pp. 465-468, 2017.
- [22] J. Majin, H. Gomez and J. Florez, "Guía para la generación de planes de mantenimiento basados en ISO 9001: 2008 y ANSI/ISA 88, 95. caso de estudio: planta trilladora de café pergamino," *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, vol. 1, no. 33, p. 141, 2018.
- [23] B. Chaparro, Documentación del programa de mantenimiento basado en confiabilidad de la empresa Molinos San Miguel S.A.S en la ciudad de Santa Marta, Santa Marta, 2018.
- [24] RENOVETEC, Mantenimiento de plantas termoeléctricas, 339-361.
- [25] Técnicas de mantenimiento industrial, Madrid (Bimensual): Editorial ALCIÓN, 2004.
- [26] R. Cadena, Modelo de plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC) para radio bases de telecomunicaciones 4G-LTE, La Paz, 2019.
- [27] J. Blanco and O. Duque, "Ingeniería de mantenimiento basada en confiabilidad a los equipos altamente críticos de la Empresa Comercializadora LICRATEX C.A," *Mundo Fesc*, vol. 15, no. 1, pp. 41-43, 2018.
- [28] J. Valera, Sistema de gestión de seguridad para una planta de producción de olefinas c3/c4 a partir de n-hexano mediante un proceso de craqueo catalítico oxidativo, 2019.

- [29] I. Silva, M. Rodríguez, R. Acosta and P. Gómez, "Diseño de plan de mantenimiento preventivo para los talleres del centro CIES Sena Regional Norte de Santander utilizando metodología AMEF," *Mundo Fesc*, vol. 9, no. 18, pp. 36-38, 2019.
- [30] O. Consuegra, "Metodologia AMFE como ferramenta de gerenciamento de riscoem um hospital universitário," vol. 11, no. 20, pp. 37-50, 2015.
- [31] J. Izaguirre and M. d. R. Párraga, "Aplicación de las metodologías 8D y AMFE para reducir fallos en una fábrica de refrigeradoras," *Revista Industrial*, vol. 2, no. 20, pp. 61-70, 2017.
- [32] S. Rojas, "Implementación de análisis modal de fallos y efectos (AMFE)," vol. 8, no. 1, pp. 66-71, 2019.
- [33] J. González, R. A. Myer and W. Pachón, "La evaluación de los riesgos antrópicos en la seguridad corporativa: del Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE) a un modelo de evaluación integral del riesgo," *Revista Científica General José María Córdova*, vol. 15, no. 19, pp. 270-280, 2016.
- [34] J. Muñoz, Implementación de la matriz de criticidad en el área de equipos móviles y de elevación en la Empresa Faismon S.A.S. Y análisis del ciclo de vida en las grúas telescópicas, Medellín, 2018.
- [35] A. Sanchez Montes, Evaluación de Criticidad de Los Equipos de La Empresa Crystal S.a.s Sede Marinilla Y Elaboración de Una Jerarquización Piloto En Los Activos Físicos de Una Sección de La Planta, 2017.
- [36] C. Parra, A. Crespo, G. Tino, J. Parra, P. Viveros and F. Kristjanpoller, "Metodología básica de análisis de riesgo para evaluar la criticidad de activos industriales. caso de estudio: línea de manufactura de envases biodegradables," *Asociación para el desarrollo de la ingeniería en mantenimiento- IMAGEMA*, pp. 1-6, 2021.
- [37] J. Rodríguez, C. Parra, D. Solís, M. López and J. Parra, "Técnica de Jerarquización de Activos MCCR: Matriz de Criticidad Cualitativa de Riesgo," *Asociación para el desarrollo de la ingeniería de manteniemento-INGEMA*, pp. 2-20, 2021.
- [38] M. C. Quishpe Villa , "Implementación de la metodología de Weibull para el diseño de un plan de mantenimiento preventivo en las máquinas industriales de la empresa

- Carrocerías Jácome," Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato. Ecuador, 2020. Disponible en <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/31234>.
- [39] C. R. Lozada López , "Desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo y predictivo para el área de enderezada y pintura en la empresa KIA Motors S.A.," Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato. Ecuador, 2021. Disponible en <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/33597>.
- [40] I. d. S. e. H. e. e. T. INSHT , "NTP 331. Fiabilidad: La distribución de Weibull," Nota Técnica de Prevención, Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales España, Madrid , 1994. Disponible en https://www.insst.es/documents/ntp_331.pdf.
- [41] F. Freire Pérez , "Desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo y predictivo mediante la distribución de WEIBULL para las Inyectoras horizontales de polímeros en la empresa Ingeniería Diseño de Suelas," Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato. Ecuador, 2019. Disponible en <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/30012>.
- [42] J. Gonzáles Quijano , "Mejora en la confiabilidad operacional de las plantas de generación de energía eléctrica: desarrollo de una metodología de gestión de mantenimiento basado en el riesgo (RBM)," Tesis de postgrado, Universidad Pontificia Comillas, Madrid. España, 2010. Disponible en <https://www.iit.comillas.edu/docs/TM-04-007.pdf>.
- [43] I. N. d. S. e. H. e. e. T. INSHT, "NTP 679: Análisis modal de fallos y efectos. AMFE," Nota Técnica de Prevención, Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales España , 2004. Disponible en https://www.insst.es/documents/94886/326775/ntp_679.pdf.
- [44] Atlas Copco , "Compresores de aire," Catálogo de compresores, Atlas Copco. Ecuador , 2021. Disponible en <https://www.atlascopco.com/es-ec/compressors/wiki/compressed-air-articles/twin-screw-compressors>.
- [45] C. QUIVENSA , "Sistema Patriot™ Aspersión de Fibra de Vidrio," Catálogo, Máquinas MVP, Quito. Ecuador , 2021. Disponible en <https://quivenza.com/producto/sistema-patriot-aspersion-de-fibra-de-vidrio/>.

- [46] E. i. KEBCO , "Mezcladora con varilla de mezcla MK 160," Catálogo de mezcladoras y agitadores KEBCO, KEBCO. Colombia , 2020. Disponible en <https://www.almacendelpintor.com/accesorios-para-equipos-de-pintura-airless/402-varilla-de-mezcla-mk-160-mm.html>.
- [47] L. Morocho and E. Tapia , "Diseño y construcción de una carrocería de un vehículo de competencia fórmula SAE eléctrico," Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. Ecuador , 2018. Disponible en <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15150>.

ANEXOS

Anexo 1. NTP 331: Fiabilidad: la distribución de Weibull

Anexo 2. NTP 679: Análisis modal de fallos y efectos. AMFE

Anexo 3. Instructivo Mezcladora MK 160 Collomix Xo6R

Anexo 4. Instructivo Compresor de aire de tornillo

Anexo 5. Instructivo Aspersor de fibra de vidrio

Anexo 1. NTP 331: Fiabilidad: la distribución de Weibull



NTP 331. Fiabilidad: la distribución de Weibull

Fiabilidad: la distribución de Weibull
Reliability: the Weibull distribution

Las NTP son guías de buenas prácticas. Sus indicaciones no son obligatorias salvo que estén recogidas en una disposición normativa vigente. A efectos de valorar la pertinencia de las recomendaciones contenidas en una NTP concreta es conveniente tener en cuenta su fecha de edición.

Redactor:

José M^a Tamborero del Pino
Ingeniero Industrial

CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES DE TRABAJO

Objetivo

El objetivo de la presente NTP es exponer un tipo de distribución estadística aplicable al estudio de la fiabilidad en problemas relativos a la fatiga y vida de componentes y materiales. La distribución de Weibull, que recibe su nombre del investigador sueco que la desarrolló, se caracteriza por considerar la tasa de fallos variable, siendo utilizada por su gran flexibilidad, al poder ajustarse a una gran variedad de funciones de fiabilidad de dispositivos o sistemas.

Introducción

La prevención de pérdidas o seguridad industrial aplicada con rigor científico está basada, en gran parte, en la aplicación de los métodos probabilísticos a los problemas de fallos en los procesos industriales. Todo ello se ha llevado a cabo a través de una disciplina denominada **ingeniería de fiabilidad**, para la cual se disponen de las adecuadas técnicas de predicción, que han sido fundamentales para el aseguramiento de la calidad de productos y procesos. (Para recordar los conceptos básicos sobre fiabilidad se remite al lector a la NTP 316- Fiabilidad de componentes- la distribución exponencial).

La distribución de Weibull complementa a la distribución exponencial y a la normal, que son casos particulares de aquella, como veremos. A causa de su mayor complejidad sólo se usa cuando se sabe de antemano que una de ellas es la que mejor describe la distribución de fallos o cuando se han producido muchos fallos (al menos 10) y los tiempos correspondientes no se ajustan a una distribución más simple. En general es de gran aplicación en el campo de la mecánica.

Aunque existen dos tipos de soluciones analíticas de la distribución de Weibull (método de los momentos y método de máxima verosimilitud), ninguno de los dos se suele aplicar por su complejidad. En su lugar se utiliza la resolución gráfica a base de determinar un parámetro de origen (t_0). Un papel especial para gráficos, llamado papel de Weibull, hace esto posible. El procedimiento gráfico, aunque exige varios pasos y una o dos iteraciones, es relativamente directo y requiere, a lo sumo, álgebra sencilla.

La distribución de Weibull nos permite estudiar cuál es la distribución de fallos de un componente clave de seguridad que pretendemos controlar y que a través de nuestro registro de fallos observamos que éstos varían a lo largo del tiempo y dentro de lo que se considera tiempo normal de uso. El método no determina cuáles son las variables que influyen en la tasa de fallos, tarea que quedará en manos del analista, pero al menos la distribución de Weibull facilitará la identificación de aquellos y su consideración, aparte de disponer de una herramienta de predicción de comportamientos. Esta metodología es útil para aquellas empresas que desarrollan programas de mantenimiento preventivo de sus instalaciones.

Características generales

Sabemos que la tasa de fallos se puede escribir, en función de la fiabilidad, de la siguiente forma:

$$\lambda(t) = - \frac{d[R(t)]}{dt R(t)}$$

ó $R(t) = \exp \left[- \int \lambda(t) dt \right]$

siendo:

$\lambda(t)$ - Tasa de fallos

$R(t)$ - Fiabilidad

$F(t)$ - Infiabilidad o Función acumulativa de fallos

t - Tiempo

En 1951 Weibull propuso que la expresión empírica más simple que podía representar una gran variedad de datos reales podía obtenerse escribiendo :

$$\int \lambda(t) dt = \left(\frac{t-t_0}{\eta} \right)^\beta$$

por lo que la fiabilidad será:

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t-t_0}{\eta} \right)^\beta \right]$$

siendo :

t_0 - parámetro inicial de localización

η - parámetro de escala o vida característica

β - parámetro de forma

Se ha podido demostrar que gran cantidad de representaciones de fiabilidades reales pueden ser obtenidas a través de ésta ecuación, que como se mostrará, es de muy fácil aplicación.

La distribución de Weibull se representa normalmente por la función acumulativa de distribución de fallos F (t):

$$F(t) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{t-t_0}{\eta} \right)^\beta \right] \quad (1)$$

siendo la función densidad de probabilidad:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-t_0}{\eta} \right)^{\beta-1} \exp \left[- \left(\frac{t-t_0}{\eta} \right)^\beta \right] \quad (2)$$

La tasa de fallos para esta distribución es:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-t_0}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad (3)$$

Las ecuaciones (1), (2) y (3) sólo se aplican para valores de $(t - t_0) \geq 0$. Para valores de $(t - t_0) < 0$, las funciones de densidad y la tasa de fallos valen 0. Las constantes que aparecen en las expresiones anteriores tienen una interpretación física :

- t_0 es el parámetro de posición (unidad de tiempos) o vida mínima y define el punto de partida u origen de la distribución.
- η es el parámetro de escala, extensión de la distribución a lo largo, del eje de los tiempos. Cuando $(t - t_0) = \eta$ la fiabilidad viene dada por:
 $R(t) = \exp - (1)^\beta = 1/\exp 1^\beta = 1 / 2,718 = 0,368$ (36,8%)
Entonces la constante representa también el tiempo, medido a partir de $t_0 = 0$, según lo cual dado que $F(t) = 1 - 0,368 = 0,632$, el 63,2 % de la población se espera que falle, cualquiera que sea el valor de β ya que como hemos visto su valor no influye en los cálculos realizados. Por esta razón también se le llama usualmente vida característica.
- β es el parámetro de forma y representa la pendiente de la recta describiendo el grado de variación de la tasa de fallos.

Las variaciones de la densidad de probabilidad, tasa de fallos y función acumulativa de fallos en función del tiempo para los distintos valores de β , están representados gráficamente en la Figura 1.

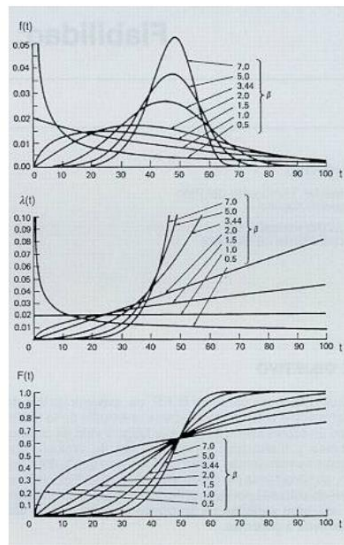


Fig. 1: Variación de la densidad de probabilidad $f(t)$, tasa de fallos $\lambda(t)$ y la función acumulativa de fallos $F(t)$ en función del tiempo para distintos valores del parámetro de forma β

Representación de los modos de fallo mediante la distribución de weibull

En el estudio de la distribución se pueden dar las siguientes combinaciones de los parámetros de Weibull con mecanismos de fallo particulares:

- a. $t_0 = 0$: el mecanismo no tiene una duración de fiabilidad intrínseca, y:
 - o si $\beta < 1$ la tasa de fallos disminuye con la edad sin llegar a cero, por lo que podemos suponer que nos encontramos en la juventud del componente con un margen de seguridad bajo, dando lugar a fallos por tensión de rotura.
 - o si $\beta = 1$ la tasa de fallo se mantiene constante siempre lo que nos indica una característica de fallos aleatoria o pseudo-aleatoria. En este caso nos encontramos que la distribución de Weibull es igual a la exponencial.
 - o si $\beta > 1$ la tasa de fallo se incrementa con la edad de forma continua lo que indica que los desgastes empiezan en el momento en que el mecanismo se pone en servicio.
 - o si $\beta = 3,44$ se cumple que la media es igual a la mediana y la distribución de Weibull es sensiblemente igual a la normal.
- b. $t_0 > 0$: El mecanismo es intrínsecamente fiable desde el momento en que fue puesto en servicio hasta que $t = t_0$, y además:
 - o si $\beta < 1$ hay fatiga u otro tipo de desgaste en el que la tasa de fallo disminuye con el tiempo después de un súbito incremento hasta t_0 ; valores de β bajos ($\sim 0,5$) pueden asociarse con ciclos de fatigas bajos y los valores de β más elevados ($\sim 0,8$) con ciclos más altos.
 - o si $\beta > 1$ hay una erosión o desgaste similar en la que la constante de duración de carga disminuye continuamente con el incremento de la carga.
- c. $t_0 < 0$. Indica que el mecanismo fue utilizado o tuvo fallos antes de iniciar la toma de datos, de otro modo
 - o si $\beta < 1$ podría tratarse de un fallo de juventud antes de su puesta en servicio, como resultado de un margen de seguridad bajo.
 - o si $\beta > 1$ se trata de un desgaste por una disminución constante de la resistencia iniciado antes de su puesta en servicio, por ejemplo debido a una vida propia limitada que ha finalizado o era inadecuada.

Análisis de Weibull

Uno de los problemas fundamentales de la distribución de Weibull es la evaluación de los parámetros (t_0 , η , β) de esta distribución. Para ello se dispone de dos métodos: a través únicamente del cálculo mediante el método de los momentos o el de máxima verosimilitud, en el que intervienen ecuaciones diferenciales difíciles de resolver, por lo que se utilizan poco, y mediante la resolución gráfica, que utiliza un papel a escala funcional llamado papel de Weibull o gráfico de Allen Plait que es el que vamos a desarrollar.

Resolución gráfica

El papel de Weibull (fig. 2 y 3) está graduado a escala funcional de la siguiente forma:

En el eje de ordenadas se tiene: $\ln [1 / 1 - F (t)]$ (Doble logaritmo neperiano)

En el eje de abscisas, tenemos: $\ln (t - t_0)$

Existen tres casos posibles en función del valor de t_0

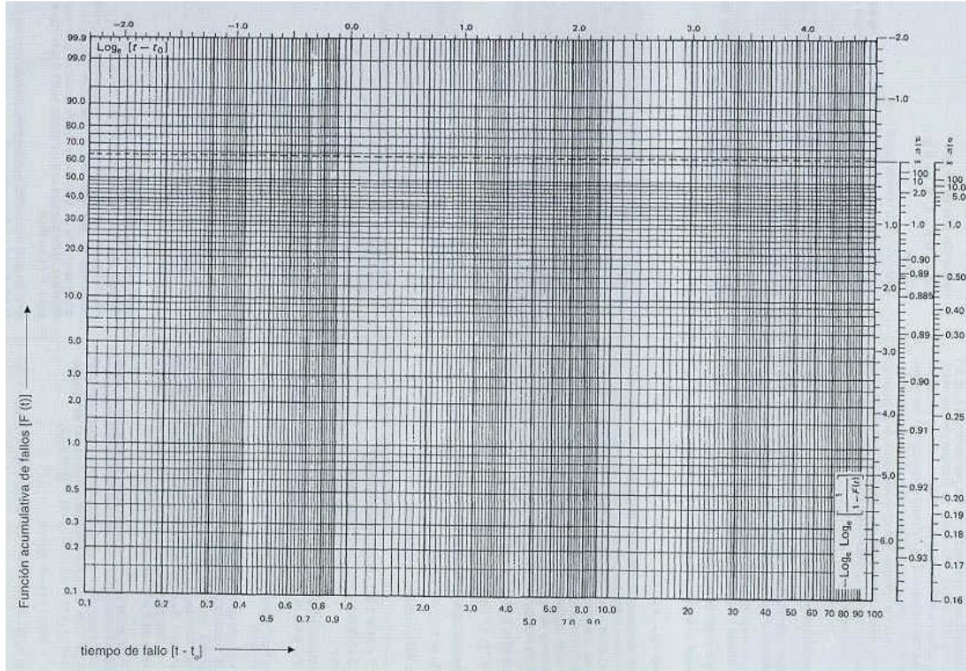


Fig. 2: Muestra del papel de Weibull

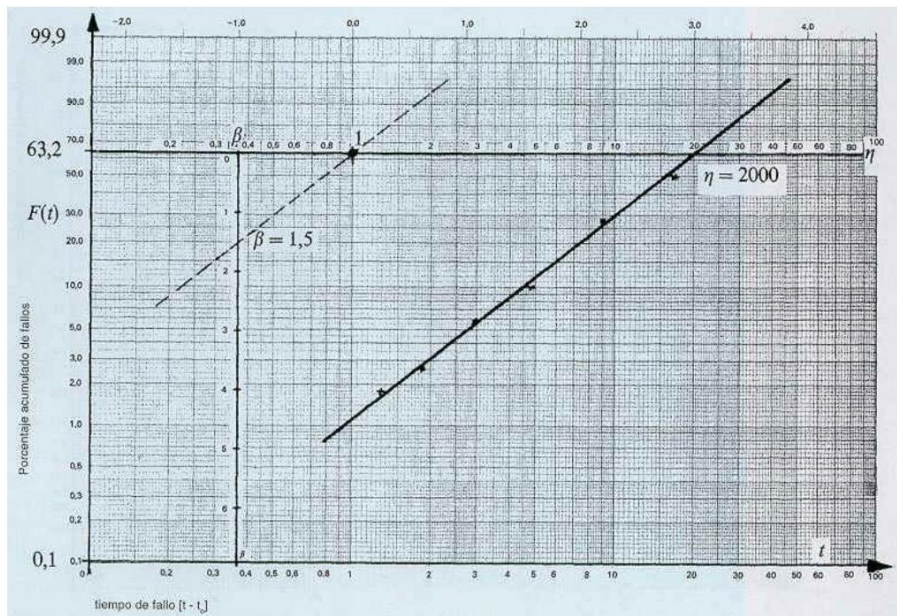


Fig. 3: Lectura de los parámetros h y β en el papel de Weibull

Caso de $t_0 = 0$

Demostramos que cualquier grupo de datos que sigan la distribución de Weibull se pueden representar por una línea recta en el papel de Weibull. Partimos de la hipótesis de que el origen es perfectamente conocido y que coincide con los datos experimentales. Desde el punto de vista matemático partimos de la fórmula que nos relaciona la fiabilidad con la in fiabilidad y teniendo en cuenta la expresión (1):

$$R(t) = 1 - F(t) = \exp - (t / \eta)^\beta$$

$$1 / [1 - F(t)] = \exp (t / \eta)^\beta$$

Tomando logaritmos neperianos por dos veces:

$$\ln \ln 1 / [1 - F(t)] = \beta \ln t - \beta \ln \eta$$

Si a esta igualdad le aplicamos

$$X = \ln t \text{ (variable función de } t)$$

$$Y = \ln \ln 1 / [1 - F(t)] \text{ (función de } t)$$

$$B = - \beta \ln \eta \text{ (constante)}$$

$$A = \beta \text{ (coeficiente director)}$$

de donde tenemos:

$$Y = AX + B \text{ (ecuación de una recta) (4)}$$

Para determinar los parámetros β y η se utiliza el papel de Weibull.

- Cálculo de β : β es el parámetro de forma y representa la pendiente de la recta. Para calcularlo, se hace pasar una recta paralela a la recta obtenida con la representación gráfica de los datos de partida por el punto 1 de abscisas y 63,2 de ordenadas pudiendo leer directamente el valor de β en una escala tabulada de 0 a 7. Ver gráfico en fig. 3.
- Cálculo de η : η es el parámetro de escala y su valor viene dado por la intersección de la recta trazada con la línea paralela al eje de abscisas correspondiente al 63,2 % de fallos acumulados. En efecto se demuestra que para la ordenada $t_0 = 0$, $F(t) = 63,2$.

$$Y = \ln \ln 1 / [1 - F(t)] = 0$$

$$\ln 1 / [1 - F(t)] = 1; 1 / [1 - F(t)] = e; 1 - F(t) = 1/e;$$

$$F(t) = 1 - [1/e] = 1 - [1/2,7183] = 1 - 0,3679 = 0,6321 \text{ (63,21 \%)}$$

de donde para $t_0 = 0$ tendremos que $AX + B = 0$; como según hemos visto anteriormente:

$$A = \beta \quad B = - \beta \ln \eta$$

tendremos que se cumple:

$$\beta X - \beta \ln \eta = 0; \beta X = \beta \ln \eta;$$

$$X = \ln \eta$$

Como $X = \ln t$, tenemos que $t = \eta$.

η es el valor leído directamente en el gráfico de Allen Plait para la ordenada 63,2, ya que la escala de abscisas está como ya se ha indicado en $\ln t$.

- Tiempo medio entre fallos (MTBF) o media: el tiempo medio entre fallos o vida media se calcula con la ayuda de la tabla 1, que nos da los valores de gamma y vale:

$$E(t) = \text{MTBF} = \eta \gamma (1 + 1 / \beta)$$

- Desviación estándar o variancia σ : se calcula también con la ayuda de la tabla 1 y vale:

$$(\sigma / \eta)^2 = \gamma (1 + 2 / \beta) - [\gamma (1 + 1 / \beta)]^2$$

Tabla 1: Fiabilidad

LEY DE WEIBULL:

$$R(t) = 1 - F(t) = \exp \left[- \left(\frac{t}{\eta} \right)^\beta \right]$$

$$MTBF = m = E(t) = \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad \sigma^2 = \eta^2 \left[\Gamma \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) - \Gamma^2 \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \right]$$

β	$m/\eta = \Gamma(1+1/\beta)$	σ/η	β	$m/\eta = \Gamma(1+1/\beta)$	σ/η
0	∞	∞	2,0	0,8862	0,463
0,1	101	$\sqrt{201-(101)^2}$	2,1	0,8857	0,44
0,2	120	1901	2,2	0,8856	0,42
0,3	9,2605	47	2,3	0,8859	0,41
0,4	3,3234	10,43	2,4	0,8865	0,39
0,5	2,0000	4,472	2,5	0,8873	0,38
0,6	1,5046	2,645	2,6	0,8882	0,37
0,7	1,2658	1,851	2,7	0,8893	0,36
0,8	1,1330	1,428	2,8	0,8905	0,34
0,9	1,0522	1,171	2,9	0,8917	0,33
1,0	1,0000	1,000	3,0	0,8938	0,32
1,1	0,9649	0,878	3,1	0,8943	0,315
1,2	0,9407	0,785	3,2	0,8957	0,31
1,3	0,9235	0,716	3,3	0,8970	0,30
1,4	0,9114	0,659	3,4	0,8984	0,29
1,5	0,9028	0,613	3,5	0,8998	0,28
1,6	0,8966	0,594	3,6	0,9011	0,27
1,7	0,8922	0,530	3,8	0,9038	0,26
1,8	0,8893	0,512	4,0	0,9064	0,25
1,9	0,8874	0,488			

Ejemplo

La información disponible acerca de la duración de 10 sistemas mecánicos de detectores de presencia sometidos a funcionamiento continuo hasta que se produce un fallo, da los siguientes resultados, expresados por su duración en meses y ordenados : 1,7; 3,5 ; 5; 6; 8; 11; 13; 18 y 22.

Calcular las probabilidades acumuladas o valores medios clasificados, los parámetros de Weibull, tipo de fallo, la fiabilidad de forma general, fiabilidad para 12 meses, la duración media de vida y la desviación tipo.

Solución

Con la ayuda de la tabla 2, que nos da directamente los valores medios clasificados de los fallos o probabilidades acumuladas según el tamaño de la muestra que en este caso es n = 10, tendremos:

Tiempo de fallo	Valores medios clasificados [F (t)]
1,7	0,0670
3,5	0,0163
5	0,2594
6	0,3557
8	0,4519
9	0,5481
11	0,6443
13	0,7406
18	0,8368
22	0,9330

Tabla 2: Valores medios clasificados de fallos en función del tamaño de la muestra (columnas) y del número medio de fallos acumulados (filas)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	0.5000	0.2929	0.2063	0.1591	0.1294	0.1091	0.0943	0.0830	0.0741	0.0670	0.0611	0.0561	0.519	0.0483	0.0452	1
2	0.7071	0.5000	0.3864	0.3147	0.2655	0.2295	0.2021	0.1806	0.1632	0.1489	0.1368	0.1266	0.1178	0.1101	2	
3		0.7937	0.6136	0.5000	0.4218	0.3648	0.3213	0.2871	0.2594	0.2366	0.2175	0.2013	0.1873	0.1751	3	
4			0.8409	0.6853	0.5782	0.5000	0.4404	0.3935	0.3557	0.3244	0.2982	0.2760	0.2568	0.2401	4	
5				0.8706	0.7345	0.6352	0.5596	0.5000	0.4519	0.4122	0.3789	0.3506	0.3263	0.3051	5	
6					0.8909	0.7705	0.6787	0.6065	0.5481	0.5000	0.4596	0.4253	0.3958	0.3700	6	
7						0.9057	0.7979	0.7129	0.6443	0.5878	0.5404	0.5000	0.4653	0.4350	7	
8							0.9170	0.8194	0.7406	0.6756	0.6211	0.5747	0.5347	0.5000	8	
9								0.9259	0.8368	0.7634	0.7018	0.6494	0.6042	0.5650	9	
10									0.9330	0.8511	0.7825	0.7240	0.6737	0.6300	10	
11										0.9389	0.8632	0.7987	0.7432	0.6949	11	
12											0.9439	0.8743	0.8127	0.7599	12	
13												0.9481	0.8822	0.8249	13	
14													0.9517	0.8899	14	
15														0.9548	15	

	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
1	0.0424	0.0400	0.0378	0.0358	0.0341	0.0330	0.0315	0.0301	0.0288	0.0277	0.0266	0.0256	0.0247	0.0239	0.0231	1
2	0.1034	0.09775	0.0922	0.0874	0.0831	0.0797	0.0761	0.0728	0.0698	0.0670	0.0645	0.0621	0.0599	0.0579	0.0559	2
3	0.1644	0.1550	0.1465	0.1390	0.1322	0.1264	0.1207	0.1155	0.1108	0.1064	0.1023	0.0986	0.0951	0.0919	0.0888	3
4	0.2254	0.2125	0.2009	0.1905	0.1812	0.1731	0.1653	0.1582	0.1517	0.1457	0.1402	0.1351	0.1303	0.1259	0.1217	4
5	0.2865	0.2700	0.2553	0.2421	0.2302	0.2198	0.2099	0.2009	0.1927	0.1851	0.1781	0.1716	0.1655	0.1599	0.1546	5
6	0.3475	0.3275	0.3097	0.2937	0.2793	0.2665	0.2545	0.2437	0.2337	0.2245	0.2159	0.2081	0.2007	0.1939	0.1875	6
7	0.4085	0.3850	0.3641	0.3453	0.3283	0.3132	0.2992	0.2864	0.2746	0.2638	0.2538	0.2445	0.2359	0.2279	0.2204	7
8	0.4695	0.4425	0.4184	0.3968	0.3774	0.3599	0.3438	0.3291	0.3156	0.3032	0.2917	0.2810	0.2711	0.2619	0.2533	8
9	0.5305	0.5000	0.4728	0.4484	0.4264	0.4066	0.3884	0.3718	0.3566	0.3425	0.3295	0.3175	0.3063	0.2959	0.2862	9
10	0.5915	0.5575	0.5272	0.5000	0.4755	0.4533	0.4330	0.4145	0.3975	0.3819	0.3674	0.3540	0.3415	0.3299	0.3191	10
11	0.6525	0.6150	0.5816	0.5516	0.5245	0.5000	0.4778	0.4572	0.4385	0.4212	0.4053	0.3905	0.3767	0.3639	0.3519	11
12	0.7135	0.6725	0.6359	0.6032	0.5736	0.5466	0.5223	0.5000	0.4795	0.4606	0.4431	0.4270	0.4119	0.3979	0.3848	12
13	0.7746	0.7300	0.6903	0.6547	0.6225	0.5933	0.5669	0.5427	0.5204	0.5000	0.4810	0.4635	0.4471	0.4319	0.4177	13
14	0.8356	0.7875	0.7447	0.7063	0.6717	0.6400	0.6115	0.5854	0.5614	0.5393	0.5189	0.5000	0.4823	0.4659	0.4506	14
15	0.8966	0.8450	0.7991	0.7579	0.7207	0.6867	0.6561	0.6281	0.6024	0.5787	0.5568	0.5364	0.5176	0.5000	0.4835	15
16	0.9576	0.9025	0.8535	0.8095	0.7698	0.7334	0.7007	0.6708	0.6433	0.6180	0.5946	0.5729	0.5528	0.5340	0.5164	16
17		0.9600	0.9078	0.8610	0.8188	0.7801	0.7454	0.7135	0.6843	0.6574	0.6325	0.6094	0.5880	0.5680	0.5493	17
18			0.9622	0.9126	0.8678	0.8268	0.7900	0.7562	0.7253	0.6967	0.6704	0.6459	0.6232	0.6020	0.5822	18
19				0.9642	0.9169	0.8735	0.8346	0.7990	0.7662	0.7361	0.7082	0.6824	0.6584	0.6360	0.6151	19
20					0.9659	0.9202	0.8792	0.8417	0.8072	0.7754	0.7461	0.7189	0.6936	0.6700	0.6480	20
21						0.9669	0.9238	0.8844	0.8482	0.8148	0.7840	0.7554	0.7288	0.7040	0.6808	21
22							0.9684	0.9271	0.8891	0.8542	0.8218	0.7918	0.7640	0.7380	0.7137	22
23								0.9698	0.9301	0.8935	0.8597	0.8283	0.7992	0.7720	0.7466	23
24									0.9711	0.9329	0.8976	0.8648	0.8344	0.8060	0.7795	24
25										0.9722	0.9354	0.9013	0.8696	0.8400	0.8124	25
26											0.9733	0.9378	0.9048	0.8740	0.8453	26
27												0.9743	0.9400	0.9080	0.8782	27
28													0.9752	0.9420	0.9111	28
29														0.9760	0.9440	29
30															0.9768	30

La representación de estos puntos en el gráfico de Weibull nos da prácticamente una recta (fig. 4). La pendiente de esta recta es 1,5 valor que corresponde al parámetro β ; por otro lado se puede ver gráficamente que n es igual a 12, que es el valor de la abscisa en el punto donde la recta trazada con los datos corta a la horizontal para $F(t) = 63,2$.

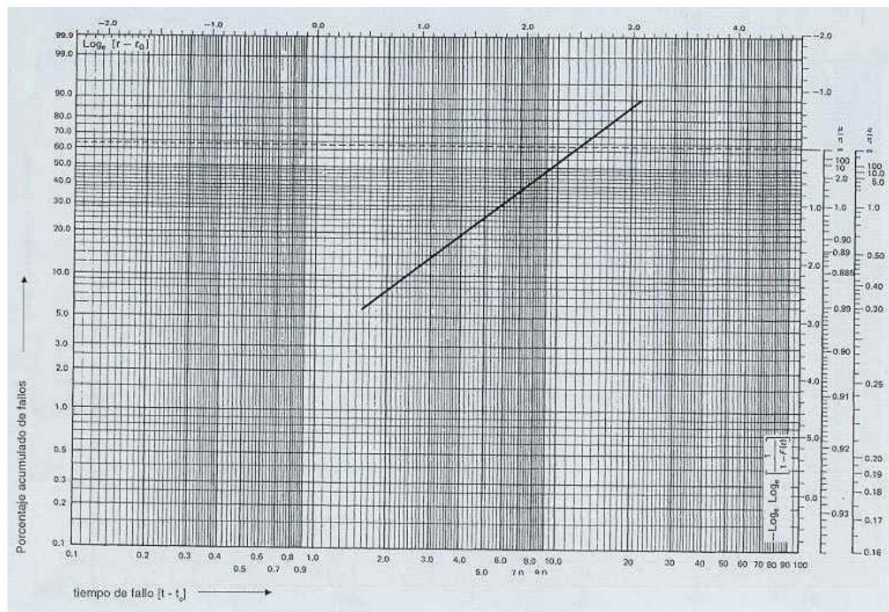


Fig. 4: Resolución gráfica del ejemplo

El valor de β nos indica que los tipos de fallo son debidos al desgaste. La fiabilidad será:

$$R(t) = \exp - (t/12)^{1,5}$$

La fiabilidad para 12 meses será:

$$R(12) = \exp - (12/12)^{1,5} = \exp - 1 = 0,3679 \text{ (36,79\%)}$$

Gráficamente vemos que para $t = 12$ la probabilidad acumulada de fallos $F(t) = 63,2$ por lo que $R(12) = 1 - F(12) = 1 - 0,632 = 0,368$ (36,8 %) valor sensiblemente igual al calculado.

La duración de vida media será :

$$E(t) = \text{MTBF} = \eta \Psi(1 + 1/\beta)$$

$$\text{MTBF} = 12 \Psi(1 + 1/1,5) = 12 \cdot 0,9028 = 10,83 \text{ meses}$$

La desviación tipo será :

$$\sigma^2 = \eta^2 [\Psi(1 + 2/\beta) - \Psi^2(1 + 1/\beta)]$$

para $\beta = 1,5$ y según las tablas nos da el valor de $\sigma/\eta = 0,613$ que como $\eta = 12$ tenemos que: $\sigma = 12 \cdot 0,613 = 7,356$ meses.

Caso de $t_0 > 0$

Para este caso los datos no se alinean adoptando la forma indicada en el gráfico de la fig. 5. Los datos tienen forma de curva que admite una asíntota vertical; la intersección de la asíntota con la abscisa nos permite obtener una primera estimación de t_0 . En efecto, tenemos que:

$$F(t) = 0 = 1 - \exp - \left(\frac{t - t_0}{\eta} \right)^\beta$$

de donde $1 = \exp - \left(\frac{t - t_0}{\eta} \right)^\beta$

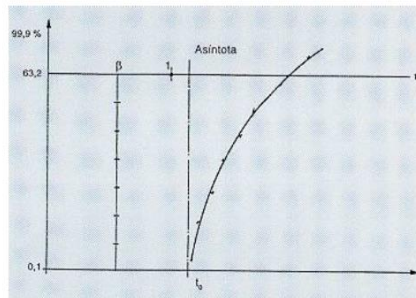


Fig. 5: Representación gráfica para el caso de $t_0 > 0$

sacando logaritmos neperianos:

$$\ln 1 = 0 = - \left(\frac{t - t_0}{\eta} \right)^\beta$$

y elevando a $1/\beta$ tendremos:

$$\left(\frac{t - t_0}{\eta} \right)^\beta = 0^{1/\beta} = 0; \quad t - t_0 = 0; \quad t = t_0$$

de donde se obtiene la evaluación de t_0 . Cuando se ha evaluado t_0 , se lleva a cabo la corrección:

$$t' = t - t_0$$

t' = nuevo tiempo

t = antigua estimación

A continuación se trasladan los nuevos valores, debiéndose obtener algo parecido a una recta; si no es así, se comenzará de nuevo la operación y esto hasta un máximo de tres veces; si se sigue sin obtener una recta, podemos deducir que no se aplica la ley de Weibull o que podemos tener leyes de Weibull con diferentes orígenes, o mezcladas.

Caso de $t_0 < 0$

En este caso, se obtiene una curva que admite una asíntota inclinada u horizontal. Una manera de calcular t_0 es mediante ensayos sucesivos, hasta que se pueda dibujar la curva.

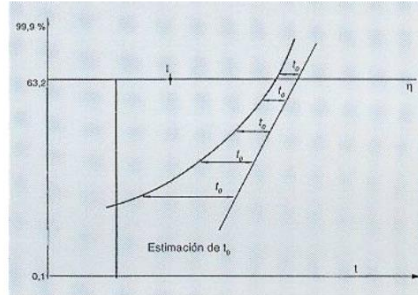


Fig. 6: Representación gráfica para el caso de $t_0 > 0$

Otro método de cálculo cuando $t_0 \neq 0$

Dada la complejidad que representa lo descrito con anterioridad existen otras formas más sencillas de calcular t_0 mediante la estimación.

Método de estimación o de los rangos medianos (Fig. 7): el método se inicia, una vez dibujada la curva, seleccionando un punto arbitrario Y_2 aproximadamente en la mitad de la curva, y otros dos puntos Y_1 e Y_3 equidistantes del primero una distancia d según el eje de las Y .

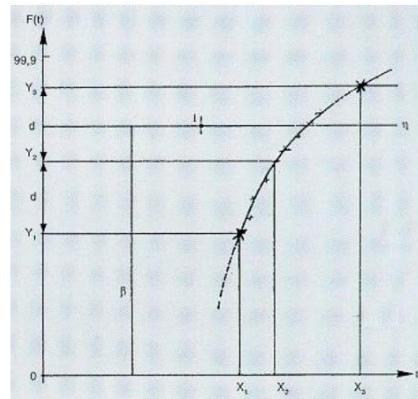


Fig. 7: Cálculo de t_0 por medio de transformaciones funcionales

Lógicamente se cumplirá la igualdad:

$$Y_2 - Y_1 = Y_3 - Y_2$$

De la ecuación anterior y si los tres puntos son colineales tendremos por otra parte:

$$X_2 - X_1 = X_3 - X_2$$

y como $X = \ln(t - t_0)$ tendremos:

$$\ln(t_2 - t_0) - \ln(t_1 - t_0) = \ln(t_3 - t_0) - \ln(t_2 - t_0)$$

$$(t_2 - t_0)^2 = (t_3 - t_0)(t_1 - t_0)$$

}

$$\text{de otra forma } t_0 = t_2 \frac{(t_3 - t_2) - (t_2 - t_1)}{(t_3 - t_2) - (t_2 - t_1)}$$

De esta forma el valor de t_0 puede ser calculado y los datos representados utilizando $(t - t_0)$ como variable. Si los datos siguen la distribución de Weibull los puntos deberán quedar alineados.

Como variante de lo anterior se puede proceder de la siguiente forma: asignar los puntos según el siguiente criterio:

$Y_{\text{máx}}$ es el valor máximo al cual se asocia $X_{\text{máx}}$.

$Y_{\text{mín}}$ es el valor mínimo al cual está asociado $Y_{\text{mín}}$.

Y_m es el punto medio (medido con una regla lineal) de $Y_{\text{máx}}$ e $Y_{\text{mín}}$

X_m es X medio asociado al Y_m obtenido.

De esta forma el valor de t_0 será :

$$t_0 = X_m \frac{(X_{\text{máx}} - X_m)(X_m - X_{\text{mín}})}{(X_{\text{máx}} - X_m) - (X_m - X_{\text{mín}})}$$

Bibliografía

(1) BERTRAM L. AMSTADTER
Matemáticas de la fiabilidad - Fundamentos - Prácticas Procedimientos
Ed. Reverté, S.A. Barcelona (1976)

(2) ANTONIO CREUS SOLE
Fiabilidad y Seguridad. Su aplicación en procesos industriales
Marcombo Boixareu Editores. Barcelona (1992)

(3) J.MOTHES - J. TORRENS- IBERN
Estadística aplicada a la ingeniería
Ediciones Ariel. Espulgues de Llobregat (1970)

(4) PATRICK LYONNET
Los métodos de la calidad total
Ediciones Diaz de Santos, S.A. Madrid (1989)

(5) A.D.S. CARTER
Mechanical Reliability
Macmillan Education Ltd. London (1986)

Anexo 2. NTP 679: Análisis modal de fallos y efectos. AMFE

Año: 2004



NTP 679: Análisis modal de fallos y efectos. AMFE

Analyse des modes de défauts et effets. AMDE

Failure Mode and Effect Analysis. FMEA

Las NTP son guías de buenas prácticas. Sus indicaciones no son obligatorias salvo que estén recogidas en una disposición normativa vigente. A efectos de valorar la pertinencia de las recomendaciones contenidas en una NTP concreta es conveniente tener en cuenta su fecha de edición.

Redactores:

Manuel Bestratén Belloví
Ingeniero Industrial

Rosa M^a Orriols Ramos
Licenciada en Ciencias Químicas

CENTRO NACIONAL DE
CONDICIONES DE TRABAJO

Carles Mata París
Ingeniero Técnico

SEAT, S.A.

La presente NTP tiene por objeto exponer el método de análisis modal de fallos y efectos de elementos clave de procesos o productos. Esta herramienta es una de las tradicionales empleadas en el ámbito de la Calidad para la identificación y análisis de potenciales desviaciones de funcionamiento o fallos, preferentemente en la fase de diseño. Se trata de un método cualitativo que por sus características, resulta de utilidad para la prevención integral de riesgos, incluidos los laborales.

1. INTRODUCCIÓN

El AMFE fue aplicado por vez primera por la industria aeroespacial en la década de los 60, e incluso recibió una especificación en la norma militar americana MIL-STD-16291 titulada "Procedimientos para la realización de análisis de modo de fallo, efectos y criticidad". En la década de los 70 lo empezó a utilizar Ford, extendiéndose más tarde al resto de fabricantes de automóviles. En la actualidad es un método básico de análisis en el sector del automóvil que se ha extrapolado satisfactoriamente a otros sectores. Este método también puede recogerse con la denominación de AMFEC (Análisis Modal de Fallos, Efectos y su Criticidad), al introducir de manera remarcable y más precisa la especial gravedad de las consecuencias de los fallos.

Aunque la técnica se aplica fundamentalmente para analizar un producto o proceso en su fase de diseño, este método es válido para cualquier tipo de proceso o situación, entendiendo que los procesos se encuentran en todos los ámbitos de la empresa, desde el diseño y montaje hasta la fabricación, comercialización y la propia organización en todas las áreas funcionales de la empresa. Evidentemente, este método a pesar de su enorme sencillez es usualmente aplicado a elementos o procesos clave en donde los fallos que pueden acontecer, por sus consecuencias puedan tener repercusiones importantes en los resultados esperados. El principal interés del AMFE es el de resaltar los puntos críticos con el fin de eliminarlos o establecer un sistema preventivo (medidas correctoras) para evitar su aparición o minimizar sus consecuencias, con lo que se puede contar en un riguroso procedimiento de detección de efectos potenciales, si se aplica de manera sistemática.

La aplicación del AMFE por los grupos de trabajo implicados en las instalaciones o procesos productivos de los que son en parte conductores o en parte usuarios en sus diferentes aspectos, aporta un mayor conocimiento de los mismos y sobre todo de sus aspectos más débiles, con las consiguientes medidas preventivas a aplicar para su necesario control. Con ello se está facilitando la integración de la cultura preventiva en la empresa, descubriéndose que mediante el trabajo en equipo es posible profundizar de manera ágil en el conocimiento y mejorar la calidad de productos y procesos reduciendo costes.

En la medida que el propósito del AMFE consiste en sistematizar el estudio de un proceso/producto, identificar los puntos de fallo potenciales, y elaborar planes de acción para combatir los riesgos, el procedimiento, como se verá, es asimilable a otros métodos simplificados empleados en prevención de riesgos laborales. Este método emplea criterios de clasificación que también son propios de la Seguridad en el Trabajo, como la posibilidad de acontecimiento de los fallos o hechos indeseados y la severidad o gravedad de sus consecuencias. Ahora bien, el AMFE introduce un factor de especial interés no utilizado normalmente en las evaluaciones simplificadas de riesgos de accidente, que es la capacidad de detección del fallo producido por el destinatario o usuario del equipo o proceso analizado, al que el método originario denomina cliente. Evidentemente tal cliente o usuario podrá ser un trabajador o equipo de personas que reciben en un momento determinado un producto o parte del mismo en un proceso productivo, para intervenir en él, o bien en último término, el usuario final de tal producto cuando haya de utilizarlo en su lugar de aplicación. Es sabido que los fallos materiales suelen estar mayoritariamente asociados en su origen a la fase de diseño y cuanto más se tarde en detectarlos más costosa será su solución. De ahí la importancia de realizar el análisis de potenciales problemas en instalaciones, equipos y procesos desde el inicio de su concepción y pensando siempre en las diferentes fases de su funcionamiento previsto. A continuación se aportan una serie de definiciones sobre los conceptos asumidos por este método.

Este método no considera los errores humanos directamente, sino su correspondencia inmediata de mala operación en la situación de un componente o sistema. En definitiva, el AMFE es un método cualitativo que permite relacionar de manera sistemática una relación de fallos posibles, con sus consiguientes efectos, resultando de fácil aplicación para analizar cambios en el diseño o modificaciones en el proceso.

2. DEFINICIONES DE TÉRMINOS FUNDAMENTALES DEL AMFE

Como paso previo a la descripción del método y su aplicación es necesario sentar los términos y conceptos fundamentales, que a continuación se describen.

Ciente o usuario

Solemos asociar la palabra cliente al usuario final del producto fabricado o el destinatario-usuario del resultado del proceso o parte del mismo que ha sido analizado. Por lo tanto, en el AMFE, el cliente dependerá de la fase del proceso o del ciclo de vida del producto en el que apliquemos el método. La situación más crítica se produce cuando un fallo generado en un proceso productivo que repercute decisivamente en la calidad de un producto no es controlado a tiempo y llega en tales condiciones al último destinatario o cliente.

Si uno de los aspectos determinantes del método es asegurar la satisfacción de las necesidades de los usuarios, evitando los fallos que generan problemas e insatisfacciones, para conocerlas es necesario tener herramientas que nos permitan registrarlas. Para ello disponemos, entre otras, de dos herramientas: los cuestionarios de satisfacción de necesidades de clientes o usuarios y la doble matriz de información para comprobar como los resultados esperados de productos/procesos responden a las expectativas de sus usuarios.

El propósito del diseño, o sea lo que se espera se siga o no del mismo, debe estar acorde con las necesidades y requisitos que pide el usuario; con lo que al realizar el AMFE y aplicarlo en la fase de diseño siempre hay que pensar en el cliente-usuario, ese "quien", es el que nos marca el objetivo final.

Es por eso que las funciones prioritarias al realizar el AMFE son las denominadas "funciones de servicio", este tipo de funciones nos permitirán conocer el susodicho grado de satisfacción del cliente tanto de uso del producto como de estimación (complacencia). Las "funciones de servicio" son necesidades directas de los sistemas analizados y no dependen solo de la tecnología, es por eso que para determinarlas hay que analizar, como se ha dicho, dos aspectos: las necesidades que se tienen que satisfacer y el impacto que tienen sobre el cliente dichas necesidades. Esto nos permitirá determinar y priorizar las funciones de servicio y a partir de ahí realizar el AMFE.

Producto

El producto puede ser una pieza, un conjunto de piezas, el producto final obtenido de un proceso o incluso el mismo proceso. Lo importante es poner el límite a lo que se pretende analizar y definir la función esencial a realizar, lo que se denomina identificación del elemento y determinar de que subconjuntos / subproductos está compuesto el producto.

Por ejemplo: podemos analizar un vehículo motorizado en su conjunto o el sistema de carburación del mismo. Evidentemente, según el objetivo del AMFE, podrá ser suficiente revisar las funciones esenciales de un producto o profundizar en alguna de sus partes críticas para analizar en detalle sus modos de fallo.

Seguridad de funcionamiento

Hablamos de seguridad de funcionamiento como concepto integrador, ya que además de la fiabilidad de respuesta a sus funciones básicas se incluye la conservación, la disponibilidad y la seguridad ante posibles riesgos de daños tanto en condiciones normales en el régimen de funcionamiento como ocasionales. Al analizar tal seguridad de funcionamiento de un producto/proceso, a parte de los mismos, se habrán de detectar los diferentes modos o maneras de producirse los fallos previsible con su detectabilidad (facilidad de detección), su frecuencia y gravedad o severidad, y que a continuación se definen.

Detectabilidad

Este concepto es esencial en el AMFE, aunque como se ha dicho es novedoso en los sistemas simplificados de evaluación de riesgos de accidente.

Si durante el proceso se produce un fallo o cualquier "output" defectuoso, se trata de averiguar cuan probable es que no lo "detectemos", pasando a etapas posteriores, generando los consiguientes problemas y llegando en último término a afectar al cliente - usuario final.

Cuanto más difícil sea detectar el fallo existente y más se tarde en detectarlo más importantes pueden ser las consecuencias del mismo.

Frecuencia

Mide la repetitividad potencial u ocurrencia de un determinado fallo, es lo que en términos de fiabilidad o de prevención llamamos la probabilidad de aparición del fallo.

Gravedad

Mide el daño normalmente esperado que provoca el fallo en cuestión, según la percepción del cliente - usuario. También cabe considerar el daño máximo esperado, el cual iría asociado también a su probabilidad de generación.

Índice de Prioridad de Riesgo (IPR)

Tal índice está basado en los mismos fundamentos que el método histórico de evaluación matemática de riesgos de FINE, William T., si bien el índice de prioridad del AMFE incorpora el factor detectabilidad. Por tanto, tal índice es el producto de la frecuencia por la gravedad y por la detectabilidad, siendo tales factores traducibles a un código numérico adimensional que permite priorizar la urgencia de la intervención, así como el orden de las acciones correctoras. Por tanto debe ser calculado para todas las causas de fallo.

$$IPR = D.G.F$$

Es de suma importancia determinar de buen inicio cuales son los puntos críticos del producto/proceso a analizar. Para ello hay que recurrir a la observación directa que se realiza por el propio grupo de trabajo, y a la aplicación de técnicas generales de análisis desde el "brainstorming" a los diagramas causa-efecto de Isikawa, entre otros, que por su sencillez son de conveniente utilización. La aplicación de dichas técnicas y el grado de profundización en el análisis depende de la composición del propio grupo de trabajo y de su cualificación, del tipo de producto a analizar y como no, del tiempo hábil disponible.

3. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

A continuación se indican de manera ordenada y esquemática los pasos necesarios con los correspondientes informaciones a cumplimentar en la hoja de análisis para la aplicación del método AMFE de forma genérica. El esquema de presentación de la información que se muestra en esta NTP tiene un valor meramente orientativo, pudiendo adaptarse a las características e intereses de cada organización. No obstante, el orden de cumplimentación sigue el mismo en el que los datos deberán ser recabados. Al final se adjunta una sencilla aplicación práctica, a modo de ejemplo. En primer lugar habría que definir si el AMFE a realizar es de proyecto o de producto/proceso. Cuando el AMFE se aplica a un proceso de-

terminado, hay que seleccionar los elementos clave del mismo asociados al resultado esperado. Por ejemplo, supongamos que se trata de un proceso de intercambio térmico para enfriar un reactor químico, los elementos clave a aplicar entonces en el AMFE podrían ser el propio intercambiador y la bomba de suministro de fluido refrigerante. En todo caso, hablemos de producto o proceso, en el AMFE nos centraremos en el análisis de elementos materiales con unas características determinadas y con unos modos de fallo que se trata de conocer y valorar.

Denominación del componente e identificación

Debe identificarse el PRODUCTO o parte del PROCESO incluyendo todos los subconjuntos y los componentes que forman parte del producto/proceso que se vaya a analizar, bien sea desde el punto de vista de diseño del producto/proyecto o del proceso propiamente dicho. Es útil complementar tal identificación con códigos numéricos que eviten posibles confusiones al definir los componentes.

Parte del componente. Operación o función

Se completa con distinta información dependiendo de si se está realizando un AMFE de diseño o de proceso.

Para el AMFE de diseño se incluyen las partes del componente en que puede subdividirse y las funciones que realiza cada una de ellas, teniendo en cuenta las interconexiones existentes. Para el AMFE de proceso se describirán todas las operaciones que se realizan a lo largo del proceso o parte del proceso productivo considerado, incluyendo las operaciones de aprovisionamiento, de producción, de embalaje, de almacenado y de transporte.

Fallo o Modo de fallo

El "Modo de Fallo Potencial" se define como la forma en la que una pieza o conjunto pudiera fallar potencialmente a la hora de satisfacer el propósito de diseño/proceso, los requisitos de rendimiento y/o las expectativas del cliente.

Los modos de fallo potencial se deben describir en términos "físicos" o técnicos, no como síntoma detectable por el cliente. El error humano de acción u omisión en principio no es un modo de fallo del componente analizado. Es recomendable numerarlos correlativamente.

Un fallo puede no ser detectable inmediatamente, ello como se ha dicho es un aspecto importante a considerar y por tanto no debería nunca pasarse por alto.

Efecto/s del fallo

Normalmente es el síntoma detectado por el cliente/usuario del modo de fallo, es decir si ocurre el fallo potencial como lo percibe el cliente, pero también como repercute en el sistema. Se trata de describir las consecuencias no deseadas del fallo que se puede observar o detectar, y siempre deberían indicarse en términos de rendimiento o eficacia del producto/proceso. Es decir, hay que describir los síntomas tal como lo haña el propio usuario.

Cuando se analiza solo una parte se tendrá en cuenta la repercusión negativa en el conjunto del sistema, para así poder ofrecer una descripción más clara del efecto.

Si un modo de fallo potencial tiene muchos efectos, a la hora de evaluar, se elegirán los más graves.

Causas del modo de fallo

La causa o causas potenciales del modo de fallo están en el origen del mismo y constituyen en el indicio de una debilidad del diseño cuya consecuencia es el propio modo de fallo.

Es necesario relacionar con la mayor amplitud posible todas las causas de fallo concebibles que pueda asignarse a cada modo de fallo. Las causas deberán relacionarse de la forma más concisa y completa posible para que los esfuerzos de corrección puedan dirigirse adecuadamente. Normalmente un modo de fallo puede ser provocado por dos o más causas encadenadas.

Ejemplo de AMFE de diseño:

Supongamos que estamos analizando el tubo de escape de gases de un automóvil en su proceso de fabricación.

- Modo de fallo: Agrietado del tubo de escape
- Efecto: Ruido no habitual
- Causa: Vibración – Fatiga

Ejemplo AMFE de proceso:

Supongamos que estamos analizando la función de refrigeración de un reactor químico a través de un serpentín con aporte continuo de agua.

- Modo de fallo 1: Ausencia de agua.
Causas: fallo del suministro, fuga en conducción de suministro, fallo de la bomba de alimentación.
- Modo de fallo 2: Pérdida de capacidad refrigerante.
Causas: Obstrucciones calcáreas en el serpentín, perforación en el circuito de refrigeración.

Efecto en ambos modos de fallo: Incremento sustancial de temperatura. Descontrol de la reacción

Medidas de ensayo y control previstas

En muchos AMFE suele introducirse este apartado de análisis para reflejar las medidas de control y verificación existentes para asegurar la calidad de respuesta del componente/producto/proceso. La fiabilidad de tales medidas de ensayo y control condicionará a su vez a la frecuencia de aparición de los modos de fallo. Las medidas de control deberían corresponderse para cada una de las causas de los modos de fallo.

Gravedad

Determina la importancia o severidad del efecto del modo de fallo potencial para el cliente (no teniendo que ser este el usuario final); valora el nivel de consecuencias, con lo que el valor del índice aumenta en función de la insatisfacción del cliente, la degradación de las prestaciones esperadas y el coste de reparación.

Este índice sólo es posible mejorarlo mediante acciones en el diseño, y no deberían afectarlo los controles derivados de la propia aplicación del AMFE o de revisiones periódicas de calidad.

El cuadro de clasificación de tal índice debería diseñarlo cada empresa en función del producto/servicio, proceso en concreto. Generalmente el rango es con números enteros, en la tabla adjunta la puntuación va del 1 al 10, aunque a veces se usan rangos menores (de 1 a 5), desde una pequeña insatisfacción, pasando por una degradación funcional en el uso, hasta el caso más grave de no adaptación al uso, problemas de seguridad o infracción reglamentaria importante. Una clasificación tipo podría ser la representada en la tabla 1

TABLA 1. Clasificación de la gravedad del modo fallo según la repercusión en el cliente/usuario

GRAVEDAD	CRITERIO	VALOR
Muy Baja Repercusiones imperceptibles	No es razonable esperar que este fallo de pequeña importancia origine efecto real alguno sobre el rendimiento del sistema. Probablemente, el cliente ni se daría cuenta del fallo.	1
Baja Repercusiones irrelevantes apenas perceptibles	El tipo de fallo originaría un ligero inconveniente al cliente. Probablemente, éste observaría un pequeño deterioro del rendimiento del sistema sin importancia. Es fácilmente subsanable.	2-3
Moderada Defectos de relativa importancia	El fallo produce cierto disgusto e insatisfacción en el cliente. El cliente observará deterioro en el rendimiento del sistema.	4-6
Alta	El fallo puede ser crítico y verse inutilizado el sistema. Produce un grado de insatisfacción elevado.	7-8
Muy Alta	Modalidad de fallo potencial muy crítica que afecta el funcionamiento de seguridad del producto o proceso y/o involucra seriamente el incumplimiento de normas reglamentarias. Si tales incumplimientos son graves corresponde un 10.	9-10

Desde el punto de vista de la prevención de riesgos laborales, la gravedad valora las consecuencias de la materialización del riesgo, entendiéndolas como el accidente o daño más probable/habitual. Ahora bien, en el AMFE se enriquece este concepto introduciendo junto a la importancia del daño del tipo que sea en el sistema, la percepción que el usuario-cliente tiene del mismo. Es decir, el nivel de gravedad del AMFE nos está dando también el grado de importancia del fallo desde el punto de vista de sus peores consecuencias, tanto materiales como personales u organizacionales.

Siempre que la gravedad esté en los niveles de rango de gravedad superior a 4 y la detectabilidad sea superior a 4, debe considerarse el fallo y las características que le corresponden como importantes. Aunque el IPR resultante sea menor al especificado como límite, conviene actuar sobre estos modos de fallo. De ahí que cuando al AMFE se incorpora tal atención especial a los aspectos críticos, el método se conozca como AMFEC, correspondiendo la última letra a tal aspecto cuantificable de la criticidad.

Estas características de criticidad se podrían identificar con algún símbolo característico (por ej. Un triángulo de diferentes colores) en la hoja de registro del AMFE, en el plan de control y en el plano si corresponde.

Frecuencia

Es la Probabilidad de que una causa potencial de fallo (causa específica) se produzca y dé lugar al modo de fallo.

Se trata de una evaluación subjetiva, con lo que se recomienda, si se dispone de información, utilizar datos históricos o estadísticos. Si en la empresa existe un Control Estadístico de Procesos es de gran ayuda para poder objetivar el valor. No obstante, la experiencia es esencial. La frecuencia de los modos de fallo de un producto final con funciones clave de seguridad, adquirido a un proveedor, debería ser suministrada al usuario, como punto de partida, por dicho proveedor. Una posible clasificación se muestra en la tabla 2.

La única forma de reducir el índice de frecuencia es:

- Cambiar el diseño, para reducir la probabilidad de que el fallo pueda producirse.
- Incrementar o mejorar los sistemas de prevención y/o control que impiden que se produzca la causa de fallo.

Controles actuales

En este apartado se deben reflejar todos los controles existentes actualmente para prevenir las causas del fallo y detectar el efecto resultante.

Detectabilidad

Tal como se definió anteriormente este índice indica la probabilidad de que la causa y/o modo de fallo, supuestamente aparecido, sea detectado con antelación suficiente para evitar daños, a través de los "controles actuales" existentes a tal fin. Es decir, la capacidad de de-

TABLA 2. Clasificación de la frecuencia/probabilidad de ocurrencia del modo de fallo

FRECUENCIA	CRITERIO	VALOR
Muy Baja Improbable	Ningún fallo se asocia a procesos casi idénticos, ni se ha dado nunca en el pasado, pero es concebible.	1
Baja	Fallos aislados en procesos similares o casi idénticos. Es razonablemente esperable en la vida del sistema, aunque es poco probable que suceda.	2-3
Moderada	Defecto aparecido ocasionalmente en procesos similares o previos al actual. Probablemente aparecerá algunas veces en la vida del componente/sistema.	4-5
Alta	El fallo se ha presentado con cierta frecuencia en el pasado en procesos similares o previos procesos que han fallado.	6-8
Muy Alta	Fallo casi inevitable. Es seguro que el fallo se producirá frecuentemente.	9-10

TABLA 3. Clasificación de la facilidad de detección del modo de fallo

DETECTABILIDAD	CRITERIO	VALOR
Muy Alta	El defecto es obvio. Resulta muy improbable que no sea detectado por los controles existentes	1
Alta	El defecto, aunque es obvio y fácilmente detectable, podría en alguna ocasión escapar a un primer control, aunque sería detectado con toda seguridad a posteriori.	2-3
Mediana	El defecto es detectable y posiblemente no llegue al cliente. Posiblemente se detecte en los últimos estadios de producción	4-6
Pequeña	El defecto es de tal naturaleza que resulta difícil detectarlo con los procedimientos establecidos hasta el momento.	7-8
Improbable	El defecto no puede detectarse. Casi seguro que lo percibirá el cliente final	9-10

detectar el fallo antes de que llegue al cliente final. Inversamente a los otros índices, cuanto menor sea la capacidad de detección mayor será el índice de detectabilidad y mayor el consiguiente Índice de Riesgo, determinante para priorizar la intervención. Ver la tabla 3.

Se hace necesario aquí puntualizar que la detección no significa control, pues puede haber controles muy eficaces pero si finalmente la pieza defectuosa llega al cliente, ya sea por un error, etc., la detección tendrá un valor alto. Aunque está claro que para reducir este índice sólo se tienen dos opciones:

- Aumentar los controles. Esto supone aumentar el coste con lo que es una regla no prioritaria en los métodos de Calidad ni de Prevención.
- Cambiar el diseño para facilitar la detección.

Índice de Prioridad de Riesgo (IPR)

Es el producto de los tres factores que lo determinan. Dado que tal índice va asociado a la prioridad de intervención, suele llamarse Índice de Prioridad del Riesgo. Debe ser calculado para todas las causas de fallo. No se establece un criterio de clasificación de tal índice. No obstante un IPR inferior a 100 no requeriría intervención salvo que la mejora fuera fácil de introducir y contribuiría a mejorar aspectos de calidad del producto proceso o trabajo. El ordenamiento numérico de las causas de modos de fallo por tal índice ofrece una primera aproximación de su importancia, pero es la reflexión detenida ante los factores que las determinan, lo que ha de facilitar la toma de decisiones para la acción preventiva. Como todo método cualitativo su principal aportación es precisamente el facilitar tal reflexión.

Acción correctora

Se describirá en este apartado la acción correctora propuesta. Generalmente el tipo de acción correctora que elegiremos seguirá los siguientes criterios, de ser posible:

- Cambio en el diseño del producto servicio o proceso general.
- Cambio en el proceso de fabricación.
- Incremento del control o la inspección.

Siempre hay que mirar por la eficiencia del proceso y la minimización de costes de todo tipo, generalmente es más económico reducir la probabilidad de ocurrencia de fallo que dedicar recursos a la detección de fallos. No obstante, la gravedad de las consecuencias del modo de

fallo debería ser el factor determinante del índice de prioridad del riesgo. O sea, si se llega al caso de dos situaciones que tuvieran el mismo índice, la gravedad sería el factor diferencial que marcaría la prioridad.

Responsable y plazo

Como en cualquier planificación de acciones correctoras se deberá indicar quien es el responsable de cada acción y las fechas previstas de implantación.

Acciones implantadas

Este apartado es opcional, no siempre lo contienen los métodos AMFE, pero puede ser de gran utilidad recogerlo para facilitar el seguimiento y control de las soluciones adoptadas. Se deben reflejar las acciones realmente im-

TABLA 4. Proceso de actuación para la realización de un AMFE de proceso

1. Disponer de un esquema gráfico del proceso productivo (lay-out).
2. Seleccionar procesos/operaciones clave para el logro de los resultados esperados.
3. Crear grupo de trabajo conocedor del proceso en sus diferentes aspectos. Los miembros del grupo deberían haber recibido previamente conocimientos de aplicación de técnicas básicas de análisis de fallos y del AMFE.
4. Recabar información sobre las premisas generales del proceso, funciones de servicio requeridas, exigencias de seguridad y salud en el trabajo y datos históricos sobre incidentes y anomalías generadas.
5. Disponer de información sobre prestaciones y fiabilidad de elementos clave del proceso.
6. Planificar la realización del AMFE, conducido por persona conocedora de la metodología.
7. Aplicar técnicas básicas de análisis de fallos. Es esencial el diagrama causa- efecto o diagrama de la espina de Isikawa.
8. Cumplimentar el formulario del AMFE, asegurando la fiabilidad de datos y respuestas por consenso.
9. Reflexionar sobre los resultados obtenidos y emitir conclusiones sobre las intervenciones de mejora requeridas.
10. Planificar las correspondientes acciones de mejora.

Tabla 5. Ejemplo de formulario de AMFE cumplimentado parcialmente para el análisis de operaciones de soldadura y marcado del proceso de prensas y chapistería

ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (A.M.F.E.)															
AMFE DE PROYECTO <input type="checkbox"/>		AMFE DE PROCESO <input type="checkbox"/>		DENOMINACIÓN DEL COMPONENTE / PARTE DEL PROCESO			Hoja:			RESPONSABLE / PLAZO					
NOMBRE Y DPTO. DE LOS PARTICIPANTES Y/O PROVEEDOR:				COORDINADOR: (Nombre / Dpto.)			MODELO/SISTEMA/FABRICACIÓN			FECHA INICIO: FECHA REVISIÓN:					
OPERACIÓN O FUNCIÓN	FALLO Nº	FALLOS POTENCIALES			ESTADO ACTUAL			ACCIÓN CORRECTORA	RESPONSABLE / PLAZO	SITUACIÓN DE MEJORA					
		MODOS DE FALLO	EFFECTOS	CAUSAS DEL MODO DE FALLO	MEDIDAS DE ENSAYO Y CONTROL PREVISTAS	F	G			D	IPR	F	G	D	IPR
Soldadura MIG	1.1	Falta soldadura	Retrabajos, ruidos, falta de rigidez	Defectos de acoplamiento	Ninguna	8	8	2	128	Previstos grupos y aprietes en zona MIG	Proceso Chapa / Anteproyecto				
	1.2			Pestañas fuera de geometría	Ninguna	8	8	2	128	Pestañas bien diseñadas para garantizar geometría	Proyectos / Anteproyecto				
	1.3	Soldadura defectuosa	Agujeros en chapa	Desacoplamiento chapas	Ninguna	8	8	2	128	Garantizar geometrías y acoplamientos	Proceso Chapa / Anteproyecto				
	1.4	Mala calidad de soldadura	Retrabajos ruidos, grietas	Parámetros de soldadura incorrectos	Ninguna	2	9	8	144	Acceso restringido a los parámetros de máquina. Control periódico de los mismos.	Proceso Chapa / Anteproyecto				
	1.5	Proyecciones suciedad poros	Óxido, suciedad en bajos en pinturas	Falta de gas. Malos parámetros	Ninguna	6	8	7	336	Incorporar medios en la estación para eliminar suciedad.	Proceso Chapa / Anteproyecto				
	1.6	Deslumbramiento	Problemas de visión de los operarios	Ausencia de vallas oscuras	Ninguna	10	8	2	160	Colocar pantallas de protección en zonas de soldadura MIG	Proceso Chapa / Anteproyecto				
	1.7			Ausencia de puertas oscuras	Ninguna	10	8	2	160	Colocar puertas de protección para no deslumbrar	Proceso Chapa / Anteproyecto				
	1.8	Exceso de humos	Exposición a agentes químicos	Campanas de humos ubicadas muy alejadas de la zona de emanación del humo.	Ninguna	6	8	4	192	Colocar campanas de aspiración justo al lado de la fuente del humo.	Proceso Chapa / Anteproyecto				
	1.9	Exceso de fuego	Proyecciones	No hay protección	Ninguna	6	5	6	180	Caja de latón que protege chapa y la máquina, todo ello en sus partes vistas.	Proceso Chapa / Anteproyecto				

Tabla 5. Continuación

ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (A.M.F.E.)																			
AMFE DE PROYECTO <input type="checkbox"/>		AMFE DE PROCESO <input type="checkbox"/>		DENOMINACIÓN DEL COMPONENTE / PARTE DEL PROCESO		CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN DEL COMPONENTE		Hoja:		FECHA INICIO: FECHA REVISIÓN:									
NOMBRE Y DPTO. DE LOS PARTICIPANTES Y/O PROVEEDOR:				COORDINADOR: (Nombre / Dpto.)				MODELO/SISTEMA/FABRICACIÓN				SITUACIÓN DE MEJORA							
OPERACIÓN O FUNCIÓN	FALLO Nº	FALLOS POTENCIALES			CAUSAS DEL MODO DE FALLO	MEDIDAS DE ENSAYO Y CONTROL PREVISTAS	ESTADO ACTUAL						RESPONSABLE / PLAZO	ACCIÓN CORRECTORA	RESPONSABLE / PLAZO	ACCIÓN CORRECTORA	RESPONSABLE / PLAZO	ACCIÓN CORRECTORA	
		MODOS DE FALLO	EFFECTOS	EFFECTOS			F	G	D	IPR	F	G							D
Estaciones de geometría y soldadura en general	2.1	Dificultad de controlar puntos de soldadura ocultos	Rechazo, reparaciones, retrabajos	Rechazo, reparaciones, retrabajos	Imposibilidad de control al no poder sacar de la línea piezas que incluyen otras que después quedan tapadas	Ninguna	10	7	8	560					Proceso para sacar muestreo Chapa / Anteproyecto				
	2.2	Piezas mal posicionadas o invertidas	Rechazos, retrabajos	Rechazos, retrabajos	Útil permite varias posiciones	Ninguna	10	10	5	500					Proceso Chapa / Anteproyecto				
	3.1	El marcador no marca	Identificación y reclamación dificultosa, rechazos	Identificación y reclamación dificultosa, rechazos	Mal funcionamiento del marcador, rotura, falta de energía	Control visual y penalización en auditoría intermedia	10	6	1	60					Debe integrarse el elemento automático más de la instalación				
Fechado y marcado de conjuntos	3.2	Marcaje deficiente	Identificación y reclamación dificultosa, rechazos	Identificación y reclamación respecto a la pieza	Incorrecta orientación respecto a la pieza	Control visual y penalización en auditoría intermedia	6	6	1	36					Debe integrarse el marcador como un elemento automático más de la instalación				

plantadas que a veces puede ser que no coincidan exactamente con las propuestas inicialmente. En tales situaciones habría que recalcularse el nuevo IPR para comprobar que está por debajo del nivel de actuación exigido.

A modo de resumen los puntos más importantes para llevar a cabo el procedimiento de actuación de un AMFE son los descritos en la tabla 4.

A título de ejemplo se muestra en la tabla 5 una hoja para la recogida de informaciones y datos de un AMFE, de acuerdo al contenido de esta Nota Técnica de Prevención. Se ha cumplimentado para una hipotética situación de análisis de la operación de soldadura mix en el proceso de prensas y chapistería de una empresa de fabricación de automóviles.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) PAUL JAMES.
Gestión de la Calidad Total
Prentice Hall, 1996
- (2) PATRICK LYONNET
Los métodos de la Calidad Total
Ediciones Díaz de Santos, 1989
- (3) DIRECCIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL
Métodos cualitativos para el análisis de riesgos. Guía Técnica.
Madrid, 1994

Nuestro agradecimiento a los Servicios de Prevención de Riesgos Laborales y de Calidad de la empresa SEAT, de Martorell (Barcelona), por su colaboración.

Anexo 3. Instructivo Mezcladora MK 160 Collomix Xo6R



Xo1R Xo4R Xo6R

DE	Originalbetriebsanleitung	Elektronisches Handrührwerk
EN	Original Operating Instructions	Electronic Hand-Mixer
FR	Manuel d'instructions d'origine	Mélangeur électroportatif
ES	Manual de servicio original	Mezcladora manual electrónica
PT	Instruções de utilização originais	Misturadora manual electrónica
IT	Istruzioni per l'uso originali	Agitatore manuale elettronico
NL	Originele handleiding	elektronische handmenger
DK	Original betjeningsvejledning	Elektronisk håndholdt røreværk
SV	Original-bruksanvisning	Elektronisk handomrörare
NO	Bruksanvisning i original	Elektronisk håndrøreverk
SF	Alkuperäiskäyttöohje	Sähkökäyttöinen käsisekoitin
PL	Instrukcja oryginalna	Ręcznych mieszarek elektronicznych
CZ	Originální návod k obsluze	Elektronické ruční míchadlo
SK	Originálny návod na obsluhu	Elektronické ručné miešadlo
HU	Eredeti használati utasítás	Elektromos kézi keverőgép
RO	Instrucțiuni originale	Malaxor de mână electronic
BG	Оригинална работна инструкция	Електронна ръчна бъркачка
GR	Πρωτότυπο οδηγιών χρήσης	Ηλεκτρονικός αναμικτήρας
SR	Prevod originalnog uputstva za upotrebu	Elektronski ručni mešač
HR	Originalne upute za uporabu	Elektronička ručna miješalica
SL	Originalna navodila za uporabo	Elektronska ročna mešalna naprava
TR	Orijinal Kullanım Kılavuzu	Elektronik El Mikseri
RU	Руководство по эксплуатации	Электронная переносная мешалка
LT	Originali instrukcija	Elektrinio maišymo prietaiso naudojimo
LV	Instrukcijas oriģinālvalodā	Elektroniskā pārnesājamā maisītāja
ET	Algupärane kasutusjuhend	Elektrilise käsiseguri



Anexo 4. Instructivo Compresor de aire de tornillo

Atlas Copco

Oil-injected rotary screw compressors



GA 18 VSD+, GA 22 VSD+, GA 26 VSD+, GA 30 VSD+, GA 37 VSD+

Manual de instrucciones



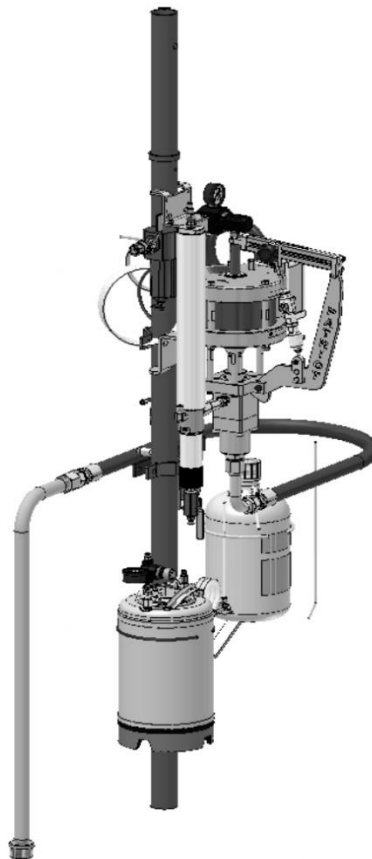
Anexo 5. Instructivo Aspersor de fibra de vidrio

Patriot Systems

Operations Manual

This manual is applicable to the following models:

- FIT-C-HVPAT
- FIT-C-PAT
- FIT-W-HVPAT
- FIT-W-PAT
- IMC-HVPAT
- IMC-PAT
- IMG-PAT
- IMW-HVPAT
- IMW-PAT
- MCS-PAT
- MGS-PAT
- MWS-PAT
- SF-FIT-C-PAT
- SF-FIT-G-PAT
- SF-FIT-W-PAT



Rev. November 2019