

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



MAESTRÍA EN MECÁNICA
(COHORTE 2017)

TEMA:

“ANÁLISIS DE FIABILIDAD DE MÁQUINAS Y EQUIPOS POR LA LEY DE WEIBULL EN EL ÁREA DE EXTRUSIÓN DE LA EMPRESA HOLVIPLAS S.A. Y SU INCIDENCIA EN LA DISPONIBILIDAD”

Trabajo de Titulación

Previa a la obtención del Grado Académico de Magíster en Mecánica Mención Diseño

Autor: Ing. Luis Rolando Agualongo Yansapanta.

Director: Ing. Christian Byron Castro Miniguano, Mg

Ambato- Ecuador

2019

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica

El tribunal receptor del Trabajo de Titulación presidido por el Ing. Wilson Santiago Medina Robalino, Mg., e integrado por: Ing. Francisco Agustín Peña Jordán, Mg., Ing. Jorge Enrique López Velastegui, Mg., designados por la Unidad Académica de Titulación de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: “ANÁLISIS DE FIABILIDAD DE MÁQUINAS Y EQUIPOS POR LA LEY DE WEIBULL EN EL ÁREA DE EXTRUSIÓN DE LA EMPRESA HOLVIPLAS S.A. Y SU INCIDENCIA EN LA DISPONIBILIDAD”, elaborado y presentado por el señor: Ing. Luis Rolando Agualongo Yansapanta, para optar por el Grado Académico de Magister en Mecánica Mención Diseño; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Titulación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.



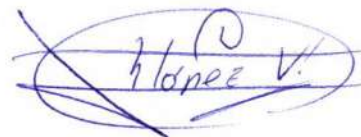
Ing. Wilson Santiago Medina Robalino, Mg.

Presidente del Tribunal



Ing. Francisco Agustín Peña Jordán, Mg.

Miembro del Tribunal



Ing. Jorge Enrique López Velastegui, Mg.

Miembro del Tribunal

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Titulación presentado con el tema: “ANÁLISIS DE FIABILIDAD DE MÁQUINAS Y EQUIPOS POR LA LEY DE WEIBULL EN EL ÁREA DE EXTRUSIÓN DE LA EMPRESA HOLVIPLAS S.A. Y SU INCIDENCIA EN LA DISPONIBILIDAD”, le corresponde exclusivamente al: Ingeniero Luis Rolando Agualongo Yansapanta, Autor bajo la Dirección del Ingeniero Christian Byron Castro Miniguano, Mg, Director del Trabajo de Titulación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.



Ing. Luis Rolando Agualongo Yansapanta
CC: 1804494480
AUTOR



Ing. Christian Byron Castro Miniguano, Mg
CC: 1803441128
DIRECTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Titulación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de esta, dentro de las regulaciones de la Universidad.



Ing. Luis Rolando Agualongo Yansapanta
1804494480

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación está dedicado a Dios todo poderoso, grande y majestuoso por darme la oportunidad de cumplir mis metas y objetivos, por brindarme salud, vida y las fuerzas necesarias para mantenerme en pie y seguir luchando a pesar de las adversidades por un futuro mejor para mi familia.

Con todo mi cariño y corazón a mis padres Luis Gilberto Agualongo y Bélgica Noemí Yansapanta por darme la oportunidad de vivir. Por su ejemplo y apoyo incondicional durante toda mi vida estudiantil.

A mis hermanos que siempre estuvieron junto a mí, brindándome sus sabios consejos y su apoyo, por ser las manos que me han ayudado a levantarme en los momentos de adversidad.

A mi abuelito Miguel Ángel Yansapanta que desde donde esta será participe de este logro.

A mis sobrinos y sobrinas que cada día van creciendo y que algún día verán este trabajo.

Luis Rolando

AGRADECIMIENTO

A Dios y a la Virgen por brindarme salud, vida y las fuerzas necesarias para cumplir mis metas y realizar uno de mis sueños más preciados.

A mis padres quienes creyeron en mí y supieron darme la oportunidad de superarme, y ser mejor persona cada día.

A la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, a sus autoridades y cuerpo docente por ser quienes gestionaron esta maestría.

A la empresa Holviplas S.A. por abrirme sus puertas para poder desarrollar este trabajo de investigación.

A mi tutor de tesis Ing. Christian Castro por guiar este trabajo de investigación hasta su exitosa culminación.

Luis Rolando

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|---|----------|
| PÁGINA DE APROBACIÓN..... | I |
| AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN..... | II |
| DERECHOS DE AUTOR..... | III |
| DEDICATORIA..... | IV |
| AGRADECIMIENTO..... | V |
| ÍNDICE DE CONTENIDOS..... | VI |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | XI |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | XIV |
| ÍNDICE DE ANEXOS..... | XVII |
| RESUMEN EJECUTIVO..... | XVIII |
| EXECUTIVE SUMMARY..... | XIX |
| CAPÍTULO I..... | 1 |
| 1.1 Tema..... | 1 |
| 1.2 Planteamiento del problema..... | 1 |
| 1.2.1 Contextualización..... | 1 |
| 1.2.2 Análisis crítico..... | 3 |
| 1.2.3 Prognosis..... | 3 |
| 1.2.4. Formulación del problema..... | 4 |
| 1.2.5. Preguntas directrices..... | 4 |
| 1.2.6. Delimitación..... | 5 |
| 1.2.6.1. Delimitación de contenido..... | 5 |
| 1.2.6.2. Delimitación espacial..... | 5 |
| 1.2.6.3. Delimitación temporal..... | 5 |
| 1.3. Justificación..... | 5 |
| 1.4. Objetivos..... | 6 |
| 1.4.1. Objetivo general..... | 6 |
| 1.4.2. Objetivos específicos..... | 6 |
| CAPÍTULO II..... | 7 |
| 2.1 Antecedentes Investigativos..... | 7 |
| 2.2 Fundamentación teórica..... | 8 |
| 2.2.2 Fiabilidad de sistemas mecánicos..... | 8 |
| 2.2.2.1. Modelos matemáticos de distribución de probabilidad de fallos..... | 8 |
| 2.2.2.2. Métodos de análisis de fallas..... | 9 |

| | |
|---|-----------|
| 2.2.3. Análisis de fiabilidad de máquinas y equipos por la ley de Weibull | 15 |
| 2.2.3.1. La distribución de Weibull | 15 |
| 2.2.3.2. Características generales..... | 15 |
| 2.2.3.3. Modos de fallo mediante la distribución de Weibull | 16 |
| 2.2.3.4. Interpretación del gráfico Weibull | 17 |
| 2.2.3.5. Diagrama de Weibull..... | 19 |
| 2.2.3.6. Método gráfico de Weibull | 20 |
| 2.2.3.7. Método matemático de Weibull..... | 29 |
| 2.2.4 Mantenimiento industrial..... | 31 |
| 2.2.5. Indicadores de gestión de mantenimiento | 31 |
| 2.2.5.1. Confiabilidad..... | 32 |
| 2.2.5.2. Disponibilidad..... | 32 |
| 2.2.5.3. Mantenibilidad | 32 |
| 2.2.5.4. Tiempo promedio en fallos (MTBF) | 33 |
| 2.2.5.5. Tiempo promedio operativo (MTTF)..... | 33 |
| 2.2.5.6. Tiempo promedio para reparar (MTTR)..... | 33 |
| 2.2.6. Disponibilidad..... | 34 |
| 2.2.6.1. Disponibilidad inherente (%DI)..... | 35 |
| 2.2.6.2. Disponibilidad operacional (%DO)..... | 35 |
| 2.3. Fundamentación filosófica | 36 |
| 2.4. Fundamentación legal..... | 36 |
| 2.5 Categorías fundamentales..... | 36 |
| 2.6 Hipótesis | 37 |
| 2.7 Señalamiento de variables | 37 |
| 2.7.1 Variable independiente | 37 |
| 2.7.2 Variable dependiente | 37 |
| 2.7.3 Término de relación | 37 |
| CAPÍTULO III | 38 |
| 3.1 Enfoque..... | 38 |
| 3.2 Modalidad básica de la investigación..... | 38 |
| 3.2.1 Investigación de campo | 38 |
| 3.2.2 Investigación bibliográfica | 38 |
| 3.2.3 Investigación experimental | 38 |
| 3.3 Nivel o tipo de investigación | 39 |
| 3.3.1 Exploratorio | 39 |

| | |
|--|-----|
| 3.3.2 Descriptiva | 39 |
| 3.3.3 Correlacional..... | 39 |
| 3.4 Población y muestra | 39 |
| 3.4.1 Población | 39 |
| 3.4.2 Muestra | 41 |
| 3.5 Operacionalización de variables | 42 |
| 3.5.1. Variable Independiente..... | 42 |
| 3.5.2 Variable Dependiente | 43 |
| 3.6. Recolección de la información | 44 |
| 3.7. Procesamiento y análisis..... | 45 |
| 3.7.1. Plan de procesamiento de la información recogida..... | 45 |
| 3.7.2 Análisis e interpretación de resultados | 46 |
| CAPÍTULO IV | 47 |
| 4.1 Análisis de resultados..... | 47 |
| 4.2 Ficha técnica de las máquinas y equipos en el área de extrusión de la empresa Holviplas S.A..... | 48 |
| 4.2.1 Conocimiento general acerca de las máquinas y equipos en el área de extrusión de la empresa Holviplas S.A. | 48 |
| 4.3 Análisis de la situación actual, disponibilidad y fiabilidad de las máquinas y equipos el área de extrusión de la empresa Holviplas S.A..... | 59 |
| 4.3.1 Parámetros utilizados | 59 |
| 4.3.1.1 Estadístico de mantenimiento anual | 59 |
| 4.4. Representación gráfica de la curva de la bañera de máquinas y equipos, análisis de gráficas. | 70 |
| 4.4.1. Gráficas de fiabilidad R (t) vs tiempo de operación (t _o)..... | 74 |
| 4.5. Análisis modal de falla-efecto de las máquinas y equipos el área de extrusión de la empresa Holviplas S.A. | 81 |
| 4.6. Determinación de fiabilidad mediante el método matemático, representación y análisis de gráficas. | 102 |
| 4.6.1. Método matemático de Weibull extrusora AMUT 94..... | 102 |
| 4.6.2 Método matemático de Weibull tina de vacío. | 107 |
| 4.6.3 Método matemático de Weibull halador. | 111 |
| 4.6.4 Método matemático de Weibull cortador. | 116 |
| 4.6.5. Método matemático de Weibull acampanador. | 120 |
| 4.6.6. Método matemático de Weibull impresora de tubería. | 125 |
| 4.6.7. Método matemático de Weibull transportador hidráulico | 130 |

| | |
|---|-----|
| 4.7. Determinación de fiabilidad mediante el método gráfico de Weibull, representación y análisis de gráficas. | 134 |
| 4.7.1. Método gráfico de Weibull extrusora AMUT 94..... | 134 |
| 4.7.2. Método gráfico de weibull tina de vacío | 137 |
| 4.7.3. Método gráfico de Weibull halador | 140 |
| 4.7.4. Método gráfico de Weibull cortador | 143 |
| 4.7.5. Método gráfico de Weibull acampanador | 146 |
| 4.7.6. Método gráfico de Weibull impresora de tubería | 149 |
| 4.7.7. Método gráfico de Weibull transporte hidráulico | 152 |
| 4.9. Validación de la hipótesis | 164 |
| 4.9.1. Correlación de pearson | 164 |
| 4.9.2. Cálculo de la correlación en la fiabilidad de Weibull | 167 |
| 4.9.3 Análisis de datos de la fiabilidad de weibull | 168 |
| 4.9.3.1. Verificación de supuestos | 168 |
| 4.9.3.2. Verificación del supuesto de normalidad | 168 |
| 4.9.3.3. Verificación de igualdad de varianza | 170 |
| 4.9.3.4. Verificación de independencia de residuos | 170 |
| 4.9.4. Aplicación del diseño experimental | 171 |
| 4.9.4.1. Diseño factorial completo..... | 171 |
| 4.9.5. Verificación de hipótesis | 172 |
| 4.9.5.1. Verificación de la hipótesis respecto a la fiabilidad de las máquinas, mediante anova hipótesis | 172 |
| CAPÍTULO V | 174 |
| 5.1. Conclusiones..... | 174 |
| 5.2. Recomendaciones..... | 176 |
| CAPÍTULO VI | 177 |
| 6.1 Datos informativos | 177 |
| 6.1.1. Título | 177 |
| 6.1.2. Autor..... | 177 |
| 6.1.3. Beneficiarios | 177 |
| 6.1.4. Ubicación | 177 |
| 6.1.5. Tiempo estimado para la ejecución..... | 177 |
| 6.1.6. Equipo técnico responsable | 177 |
| 6.2. Antecedentes de la propuesta..... | 178 |
| 6.3 Justificación | 178 |
| 6.4. Objetivos..... | 179 |

| | |
|--|-----|
| 6.4.1. Objetivo general | 179 |
| 6.4.2. Objetivos específicos..... | 179 |
| 6.6. Fundamentación..... | 179 |
| 6.6.1. Software especializado | 180 |
| 6.6.2. Creación de la interfaz gráfica | 180 |
| 6.6.3. Métodos de estimación de parámetros | 186 |
| 6.6.3.1. Máxima verosimilitud..... | 186 |
| 6.6.3.2. Mínimos cuadrados | 187 |
| 6.6.3.3. Rango de mediana | 188 |
| 6.7. Metodología..... | 190 |
| 6.7.1. Diagramas de flujo de cada interfaz | 190 |
| 6.7.1.1. Diagramas de flujo comunes para los dos métodos | 191 |
| 6.7.1.2. Diagramas según cada interfaz..... | 192 |
| 6.7.2. Desarrollo del programa de fiabilidad mediante weibull en el software especializado..... | 193 |
| 6.7.2.1. Interfaz gráfica para el análisis de la fiabilidad mediante la ley de weibull ... | 195 |
| 6.7.2.2. Interfaz gráfica para el análisis de la fiabilidad mediante el método grafico de Weibull..... | 196 |
| 6.7.2.3. Interfaz gráfica para el análisis de la fiabilidad mediante el método matemático de Weibull | 203 |
| 6.8 Administración..... | 207 |
| 6.9. Previsión de la evaluación | 208 |
| Bibliografía..... | 209 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| Fig. 2.1. Matriz Análisis de Criticidad..... | 10 |
| Fig. 2.2. Diagrama Causa-Raíz [10]. | 11 |
| Fig. 2.3. Hoja de trabajo AMFEC [11]. | 13 |
| Fig. 2.4. Curva de la bañera Weibull [16]...... | 17 |
| Fig. 2.5. Muestra del papel Weibull [14]. | 19 |
| Fig. 2.6. Lectura de los parámetros η y β en el papel de Weibull [14]. | 20 |
| Fig. 2.7. Identificación de los componentes de la Figura de Weibull [17]. | 21 |
| Fig. 2.8. Ubicación de puntos [t; F (t)] en Figura de Weibull [17]...... | 24 |
| Fig. 2.9. Trazado de línea sobre puntos [17]...... | 25 |
| Fig. 2.10. Trazado de línea perpendicular a la línea aproximada en puntos [17]...... | 26 |
| Fig. 2.11. Determinación del factor β y factor μ [17]. | 27 |
| Fig. 2.12. Obtención del factor n estimador [17]...... | 28 |
| Fig. 2.13. Diagrama de tiempo de operación y fuera de servicio [26]...... | 35 |
| Fig. 2.14. Categorías fundamentales | 36 |
| | |
| Fig. 3. 1 Diagrama de Recolección de información..... | 44 |
| Fig. 3. 2. Diagrama Procesamiento y análisis de información | 45 |
| | |
| Fig. 4. 1. Diagrama de las actividades desarrolladas para hacer el estudio | 47 |
| Fig. 4. 2. Gráfica de la curva de la bañera de la Extrusora - Línea 800..... | 70 |
| Fig. 4. 3. Gráfica de la curva de la bañera Tina de vacío - Línea 800 | 70 |
| Fig. 4. 4. Gráfica de la curva de la bañera Halador - Línea 800..... | 71 |
| Fig. 4. 5. Gráfica de la curva de la bañera Cortador - Línea 800 | 71 |
| Fig. 4. 6. Gráfica de la curva de la bañera Acampanador | 72 |
| Fig. 4. 7. Gráfica de la curva de la bañera de la Impresora de Tubería | 72 |
| Fig. 4. 8. Gráfica de la curva de la bañera Transporte Hidráulico..... | 73 |
| Fig. 4. 9. Fiabilidad extrusora AMUT 92 línea de extrusión 800..... | 74 |
| Fig. 4. 10. Fiabilidad Tina de vacío línea de extrusión 800 | 75 |
| Fig. 4. 11. Fiabilidad Halador línea de extrusión 800..... | 76 |
| Fig. 4. 12. Fiabilidad Cortador línea de extrusión 800 | 77 |
| Fig. 4. 13. Fiabilidad Acampanador línea de extrusión 800..... | 78 |
| Fig. 4. 14. Fiabilidad Impresora de Tubería | 79 |
| Fig. 4. 15. Fiabilidad Transporte Hidráulico | 80 |
| Fig. 4. 16. Fiabilidad de Weibull extrusora AMUT 94 línea de extrusión 800..... | 105 |
| Fig. 4. 17. Infiabilidad de Weibull extrusora AMUT 94 línea de extrusión 800 | 106 |
| Fig. 4. 18. Fiabilidad de Weibull Tina de vacío línea de extrusión 800 | 110 |
| Fig. 4. 19. Infiabilidad Tina de vacío línea de extrusión 800..... | 110 |
| Fig. 4. 20. Fiabilidad de Weibull Halador línea de extrusión 800..... | 114 |
| Fig. 4. 21. Infiabilidad Halador línea de extrusión 800 | 115 |
| Fig. 4. 22. Fiabilidad de Weibull Cortador línea de extrusión 800 | 119 |
| Fig. 4. 23. Infiabilidad cortador línea de extrusión 800 | 119 |
| Fig. 4. 24. Fiabilidad de Weibull Acampanador línea de extrusión 800..... | 123 |
| Fig. 4. 25. Infiabilidad acampanador línea de extrusión 800 | 124 |
| Fig. 4. 26. Fiabilidad de Weibull impresora de tubería..... | 128 |
| Fig. 4. 27. Infiabilidad de Weibull impresora de tubería | 129 |

| | |
|--|-----|
| Fig. 4. 28. Fiabilidad de Weibull Transportador Hidráulico | 132 |
| Fig. 4. 29. Infiabilidad Transportador Hidráulico..... | 133 |
| Fig. 4. 30. Papel Weibull aplicado a la extrusora AMUT 94. | 135 |
| Fig. 4. 31. Fiabilidad de Weibull Extrusora AMUT 94. | 136 |
| Fig. 4. 32. Papel Weibull aplicado a la Tina de vacío..... | 138 |
| Fig. 4. 33. Fiabilidad de Weibull Tina de vacío. | 139 |
| Fig. 4. 34. Papel Weibull aplicado al Halador..... | 141 |
| Fig. 4. 35. Fiabilidad de Weibull Halador..... | 142 |
| Fig. 4. 36. Papel Weibull aplicado al Cortador | 144 |
| Fig. 4. 37. Fiabilidad de Weibull Cortador | 145 |
| Fig. 4. 38. Papel Weibull aplicado al Acampanador | 147 |
| Fig. 4. 39. Fiabilidad de Weibull Acampanador..... | 148 |
| Fig. 4. 40. Papel Weibull aplicado a la Impresora de tubería..... | 150 |
| Fig. 4. 41. Fiabilidad de Weibull Impresora de tubería. | 151 |
| Fig. 4. 42. Papel Weibull aplicado al Transporte Hidráulico. | 153 |
| Fig. 4. 43. Fiabilidad de Weibull Transporte Hidráulico. | 154 |
| Fig. 4. 44. Interpretación geométrica de la covarianza [28]..... | 165 |
| Fig. 4. 45. Diagramas de dispersión para diferentes valores de r [28]..... | 166 |
| Fig. 4. 46. Correlación entre la fiabilidad e Infiabilidad de Weibull | 168 |
| Fig. 4. 47. Figura de predichos fiabilidad vs Residuos. | 170 |
| Fig. 4. 48. Figura del Orden de observación vs. Residuos de fiabilidad..... | 171 |
| | |
| Fig. 6. 1. Acceso a un GUIDE desde Command Window | 181 |
| Fig. 6. 2. Acceso a un GUIDE desde el menú | 181 |
| Fig. 6. 3. Ventana de inicio de GUI. | 182 |
| Fig. 6. 4. Entorno de diseño de GUI | 183 |
| Fig. 6. 5. Acceso Property Inspector..... | 184 |
| Fig. 6. 6. Ejemplo de un GUI con varios componentes | 185 |
| Fig. 6. 7. Comunicación entre la programación y la parte grafica de un GUI. | 186 |
| Fig. 6. 8. Diagrama de flujo del programa para el método matemático..... | 190 |
| Fig. 6. 9. Diagrama de flujo del programa para el método gráfico..... | 190 |
| Fig. 6. 10. Diagrama de flujo tipo de método de análisis Weibull | 191 |
| Fig. 6. 11. Diagrama de flujo de la carga de datos. | 191 |
| Fig. 6. 12. Diagrama de flujo de Figuras..... | 191 |
| Fig. 6. 13. Diagrama de flujo calcular parámetros método matemático | 192 |
| Fig. 6. 14. Diagrama de flujo calcular parámetros método gráfico | 192 |
| Fig. 6. 15. Pantalla inicial de un guide vacío..... | 193 |
| Fig. 6. 16. Pantalla de inicio del software de fiabilidad mediante la ley de Weibull. .. | 195 |
| Fig. 6. 17. Interfaz gráfica para el análisis de la fiabilidad método gráfico. | 196 |
| Fig. 6. 18. Botón ingresar datos..... | 196 |
| Fig. 6. 19. Código para botón ingresar datos..... | 197 |
| Fig. 6. 20. Panel de parámetros de Weibull método grafico | 197 |
| Fig. 6. 21. Botón “Calcular” método gráfico..... | 197 |
| Fig. 6. 22. Código para el botón “Calcular” método gráfico..... | 198 |
| Fig. 6. 23. Parámetros de Weibull método gráfico. | 198 |
| Fig. 6. 24. Valores de Fiabilidad de Weibull calculados. | 199 |
| Fig. 6. 25. Botón “Exportar”. | 199 |

| | |
|--|-----|
| Fig. 6. 26. Código para el botón “Exportar” método gráfico..... | 199 |
| Fig. 6. 27. Botón “Limpiar” | 200 |
| Fig. 6. 28. Código para el botón “Limpiar”..... | 200 |
| Fig. 6. 29. Menú desplegable para graficas | 200 |
| Fig. 6. 30. Código para el menú desplegable para graficas | 200 |
| Fig. 6. 31. Código para el menú desplegable para graficas | 201 |
| Fig. 6. 32. Gráfica de la fiabilidad método gráfico..... | 201 |
| Fig. 6. 33. Botón “Exportar”. | 201 |
| Fig. 6. 34. Código para el botón “Guardar imagen” método gráfico..... | 202 |
| Fig. 6. 35. Botón “Limpiar gráfica” | 202 |
| Fig. 6. 36. Código para el botón “Limpiar gráfica” método gráfico..... | 202 |
| Fig. 6. 37. Botón “Cerrar” | 202 |
| Fig. 6. 38. Código para el botón Cerrar..... | 202 |
| Fig. 6. 39. Interfaz gráfica para el análisis de la fiabilidad método matemático. | 203 |
| Fig. 6. 40. Panel de parámetros de Weibull método matemático | 204 |
| Fig. 6. 41. Botón “Calcular” método gráfico. | 204 |
| Fig. 6. 42. Código para el botón “Calcular” método gráfico. | 204 |
| Fig. 6. 43. Parámetros de Weibull método matemático | 205 |
| Fig. 6. 44. Valores de Fiabilidad de Weibull calculados. | 205 |
| Fig. 6. 45. Grafica de la fiabilidad método matemático..... | 206 |
| Fig. 6. 46. Opción Salir del programa | 206 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 2. 1. Clasificación de la frecuencia/ probabilidad de ocurrencia del modo de fallo [12]..... | 13 |
| Tabla 2. 2. Clasificación de la gravedad del modo fallo [12]..... | 14 |
| Tabla 2. 3. Clasificación de la facilidad de detección del modo de fallo [12]. | 14 |
| Tabla 2. 4. Clasificación de la facilidad de detección del modo de fallo [13]. | 15 |
| Tabla 2. 5. Datos de fallas (Elemento ejemplar) [17]. | 22 |
| Tabla 2. 6. Valores de orden de falla (i), Tiempos de fallo y rango medio (Mr) [17]. | 23 |
| Tabla 2. 7. Valores F (t) (elemento ejemplar) [17]. | 23 |
| Tabla 2. 8. Parámetros de la curva de Weibull (elemento ejemplar) [17]. | 29 |
| | |
| Tabla 3. 1. Distribución de Máquinas, Equipos de la Empresa HOLVIPLAS S.A. | 40 |
| Tabla 3. 2. Maquinaria del área de extrusión de la empresa HOLVIPLAS S.A. | 41 |
| Tabla 3. 3. Análisis de fiabilidad de máquinas y equipos por la ley de Weibull en el área de extrusión. | 42 |
| Tabla 3. 4. Disponibilidad. | 43 |
| | |
| Tabla 4. 1. Ficha técnica Extrusora AMUT 94 – Línea 800 | 48 |
| Tabla 4. 2. Ficha técnica Tina de vacío – Línea 800 | 49 |
| Tabla 4. 3. Ficha técnica Halador – Línea 800..... | 49 |
| Tabla 4. 4. Ficha técnica Cortador – Línea 800..... | 50 |
| Tabla 4. 5. Ficha técnica Acampanador – Línea 800..... | 50 |
| Tabla 4. 6. Ficha técnica Extrusora 92 – Línea 700 | 51 |
| Tabla 4. 7. Ficha técnica Tina de vacío – Línea 700 | 51 |
| Tabla 4. 8. Ficha técnica Halador – Línea 700..... | 52 |
| Tabla 4. 9. Ficha técnica Cortador – Línea 700..... | 52 |
| Tabla 4. 10. Ficha técnica Acampanador – Línea 700..... | 53 |
| Tabla 4. 11. Ficha técnica Extrusora AMUT 105 – Línea 100 | 53 |
| Tabla 4. 12. Ficha técnica Tina de vacío – Línea 100 | 54 |
| Tabla 4. 13. Ficha técnica Halador – Línea 100..... | 54 |
| Tabla 4. 14. Ficha técnica Cortador – Línea 100..... | 55 |
| Tabla 4. 15. Ficha técnica Acampanador – Línea 100..... | 55 |
| Tabla 4. 16. Ficha técnica Extrusora AMUT 86 – Línea 200 | 56 |
| Tabla 4. 17. Ficha técnica Tina de vacío – Línea 200 | 56 |
| Tabla 4. 18. Ficha técnica Halador – Línea 200..... | 57 |
| Tabla 4. 19. Ficha técnica Cortador – Línea 200..... | 57 |
| Tabla 4. 20. Ficha técnica Acampanador – Línea 200..... | 58 |
| Tabla 4. 21. Ficha técnica Transporte Hidráulico..... | 58 |
| Tabla 4. 22. Ficha técnica Impresora de Tubería..... | 59 |
| Tabla 4. 23. Análisis de la Situación Actual, Disponibilidad y Fiabilidad Extrusora AMUT 94 –Línea 800..... | 61 |
| Tabla 4. 24. Análisis de la Situación Actual, Disponibilidad y Fiabilidad Tina de vacío – Línea 800..... | 63 |
| Tabla 4. 25. Análisis de la Situación Actual, Disponibilidad y Fiabilidad Halador –Línea 800..... | 64 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 4. 26. Análisis de la Situación Actual, Disponibilidad y Fiabilidad Cortador– Línea 800..... | 65 |
| Tabla 4. 27. Análisis de la Situación Actual, Disponibilidad y Fiabilidad Acampanador– Línea 800..... | 66 |
| Tabla 4. 28. Análisis de la Situación Actual, Disponibilidad y Fiabilidad Impresora de tubería..... | 67 |
| Tabla 4. 29. Análisis de la Situación Actual, Disponibilidad y Fiabilidad Transporte hidráulico..... | 69 |
| Tabla 4. 30. Análisis Modal de Fallos de Tableros de control..... | 81 |
| Tabla 4. 31. Análisis Modal de Fallos de la Extrusora..... | 83 |
| Tabla 4. 32. Análisis Modal de Fallos de la Tina de Vacío..... | 88 |
| Tabla 4. 33. Análisis Modal de Fallos del Halador..... | 91 |
| Tabla 4. 34. Análisis Modal de Fallos del Cortador..... | 94 |
| Tabla 4. 35. Análisis Modal de Fallos del Acampanador..... | 97 |
| Tabla 4. 36. Análisis Modal de Fallos del Transporte Hidráulico..... | 100 |
| Tabla 4. 37. Estadísticos extrusora AMUT 94..... | 102 |
| Tabla 4. 38. Datos estadísticos Extrusora AMUT 94..... | 103 |
| Tabla 4. 39. Cálculo de parámetros requeridos Extrusora AMUT 94..... | 103 |
| Tabla 4. 40. Parámetros iniciales Extrusora AMUT 94..... | 104 |
| Tabla 4. 41. Cálculo de Fiabilidad de Weibull Extrusora AMUT 94..... | 105 |
| Tabla 4. 42. Datos estadísticos Tina de vacío..... | 107 |
| Tabla 4. 43. Datos estadísticos Tina de vacío..... | 107 |
| Tabla 4. 44. Cálculo de parámetros requeridos Tina de vacío..... | 108 |
| Tabla 4. 45. Parámetros iniciales Tina de vacío..... | 109 |
| Tabla 4. 46. Cálculo de Fiabilidad de Weibull Tina de vacío..... | 109 |
| Tabla 4. 47. Datos estadísticos Halador..... | 111 |
| Tabla 4. 48. Datos estadísticos Halador..... | 112 |
| Tabla 4. 49. Cálculo de parámetros requeridos Halador..... | 112 |
| Tabla 4. 50. Parámetros iniciales Halador..... | 113 |
| Tabla 4. 51. Cálculo de Fiabilidad de Weibull Halador..... | 114 |
| Tabla 4. 52. Datos estadísticos Cortador..... | 116 |
| Tabla 4. 53. Datos estadísticos Cortador..... | 116 |
| Tabla 4. 54. Cálculo de parámetros requeridos Cortador..... | 117 |
| Tabla 4. 55. Parámetros iniciales Cortador..... | 118 |
| Tabla 4. 56. Cálculo de Fiabilidad de Weibull Cortador..... | 118 |
| Tabla 4. 57. Datos estadísticos Acampanador..... | 120 |
| Tabla 4. 58. Datos estadísticos Acampanador..... | 121 |
| Tabla 4. 59. Cálculo de parámetros requeridos Acampanador..... | 121 |
| Tabla 4. 60. Parámetros iniciales Acampanador..... | 122 |
| Tabla 4. 61. Cálculo de Fiabilidad de Weibull Acampanador..... | 123 |
| Tabla 4. 62. Datos estadísticos Impresora de tubería..... | 125 |
| Tabla 4. 63. Datos estadísticos Impresora de tubería..... | 126 |
| Tabla 4. 64. Cálculo de parámetros requeridos Impresora de tubería..... | 126 |
| Tabla 4. 65. Parámetros iniciales Impresora de tubería..... | 127 |
| Tabla 4. 66. Cálculo de Fiabilidad de Weibull Impresora de tubería..... | 128 |
| Tabla 4. 67. Datos estadísticos Transportador Hidráulico..... | 130 |
| Tabla 4. 68. Datos estadísticos Transportador Hidráulico..... | 130 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 4. 69. Cálculo de parámetros requeridos Transportador Hidráulico. | 130 |
| Tabla 4. 70. Parámetros iniciales Transportador Hidráulico. | 132 |
| Tabla 4. 71. Cálculo de Fiabilidad de Weibull Transportador Hidráulico. | 132 |
| Tabla 4. 72. Cálculo porcentaje de falla acumulativa F (i) Extrusora AMUT 94. | 134 |
| Tabla 4. 73. Parámetros grafica de Weibull Extrusora AMUT 94. | 134 |
| Tabla 4. 74. Fiabilidad de Weibull Extrusora AMUT 94. | 136 |
| Tabla 4. 75. Cálculo porcentaje de falla acumulativa F (i) Tina de vacío. | 137 |
| Tabla 4. 76. Parámetros papel de Weibull Tina de vacío. | 138 |
| Tabla 4. 77. Fiabilidad de Weibull Tina de vacío. | 139 |
| Tabla 4. 78. Cálculo porcentaje de falla acumulativa F (i) Halador. | 140 |
| Tabla 4. 79. Parámetros papel de Weibull Halador. | 141 |
| Tabla 4. 80. Fiabilidad de Weibull Halador. | 142 |
| Tabla 4. 81. Cálculo porcentaje de falla acumulativa F (i) Cortador. | 143 |
| Tabla 4. 82. Parámetros papel de Weibull Cortador. | 144 |
| Tabla 4. 83. Fiabilidad de Weibull Cortador. | 145 |
| Tabla 4. 84. Cálculo porcentaje de falla acumulativa F (i) Acampanador. | 146 |
| Tabla 4. 85. Parámetros papel de Weibull Acampanador. | 147 |
| Tabla 4. 86. Fiabilidad de Weibull Acampanador. | 148 |
| Tabla 4. 87. Cálculo porcentaje de falla acumulativa F (i) Impresora de tubería. | 149 |
| Tabla 4. 88. Parámetros papel de Weibull Impresora de tubería. | 150 |
| Tabla 4. 89. Fiabilidad de Weibull Impresora de tubería. | 151 |
| Tabla 4. 90. Cálculo porcentaje de falla acumulativa F (i) Transporte Hidráulico. | 152 |
| Tabla 4. 91. Parámetros papel de Weibull Transporte Hidráulico. | 152 |
| Tabla 4. 92. Fiabilidad de Weibull Transporte Hidráulico. | 154 |
| Tabla 4. 93. Resumen de cálculo de fiabilidad de weibull. | 155 |
| Tabla 4. 94. Bitácora de Mantenimiento de la Tina de vacío. | 157 |
| Tabla 4. 95. Bitácora de Mantenimiento del Halador. | 158 |
| Tabla 4. 96. Bitácora de Mantenimiento del Cortador. | 159 |
| Tabla 4. 97. Bitácora de Mantenimiento del Acampanador. | 160 |
| Tabla 4. 98. Bitácora de Mantenimiento del Transporte Hidráulico. | 161 |
| Tabla 4. 99. Plan de Mantenimiento Anual de las maquinas. | 162 |
| Tabla 4. 100. Valores de interpretación [29]. | 166 |
| Tabla 4. 101. Correlación entre la fiabilidad e Infiabilidad de Weibull. | 167 |
| Tabla 4. 102. Cálculo de medidas de dispersión. | 167 |
| Tabla 4. 103. Verificación del supuesto de normalidad de datos de fiabilidad. | 169 |
| Tabla 4. 104. ANOVA para el Diseño factorial completo de la Fiabilidad. | 171 |
| Tabla 4. 105. Resumen del P-valor del modelo de regresión lineal de Fiabilidad. | 172 |
| | |
| Tabla 6. 1. Paleta de componentes y sus funciones. | 184 |
| Tabla 6. 2. Principales propiedades de los botones. | 185 |
| Tabla 6. 3. Estimadores de máxima verosimilitud. | 187 |
| Tabla 6. 4. Costos. | 207 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|--|-----|
| Anexo 1. Manual de usuario Software para la fiabilidad mediante la ley de weibull. . | 214 |
| Anexo 2. Código de Programación..... | 237 |
| Anexo 3. Papel Weibull | 256 |
| Anexo 4. NTP 331: Fiabilidad: la distribución de Weibull..... | 257 |
| Anexo 5. NTP 679: Análisis modal de fallos y efectos. AMFE..... | 267 |

RESUMEN EJECUTIVO

La presente investigación “Análisis de fiabilidad de máquinas y equipos por la ley de weibull en el área de extrusión de la empresa Holviplas S.A. y su incidencia en la disponibilidad”, tiene como objetivo primordial determinar la fiabilidad mediante el método matemático y gráfico de Weibull.

Para el desarrollo del análisis se tomaron datos estadísticos de actividades de mantenimiento realizadas con anterioridad, los cuales permitió identificar a través de una matriz AMFE, los componentes críticos a sufrir fallos, Por otra parte también se analizó los tiempos (TMBF) tiempo medio entre fallos, (MTTR) tiempo medio de reparación, (T_o) tiempo de operación, (λ) la tasa de fallos, (R_t) fiabilidad ideal, (D) disponibilidad.

Posteriormente con los datos recolectados se realizó el estudio de tiempos de operación y paro de la maquinaria, mediante la información de los registros de mantenimiento, consecutivamente se realizó el análisis estadístico para determinar la fiabilidad mediante la distribución de WEIBULL de cada máquina y equipo, tanto con el método matemático como el método gráfico, lo cual permito dar un criterio más relevante, sobre en qué posición de la curva de la bañera se encuentran las máquinas y las acciones pertinentes que se deben realizar para un proceso de mantenimiento. La investigación se apoyó en las normas NTP 331 y NTP 679 para el análisis WEIBULL y AMFE respectivamente.

La programación del software para determinar la fiabilidad se realizó mediante el lenguaje .m del software especializado y su editor de interfaz gráfica GUIDE.

Finalmente se realizaron varias aplicaciones prácticas para comprobar el funcionamiento, demostrar su funcionalidad y alcance, obteniéndose un programa que es capaz calcular los parámetros de la distribución de Weibull, valores de fiabilidad y graficar con una precisión a la altura de algunos softwares comerciales, con una interfaz de usuario sencilla.

Descriptorios: Fiabilidad de máquinas, ley de WEIBULL, disponibilidad de máquinas, área de extrusión.

EXECUTIVE SUMMARY

The present research "Analysis of reliability of machines and equipment by the law of Weibull in the area of extrusion of the company Holviplas S.A. and its impact on availability", has as its primary objective to determine the reliability using the mathematical and graphical method of Weibull.

For the development of the analysis, statistical data of maintenance activities previously carried out were taken, which allowed us to identify, through an AMFE matrix, the most critical components or the most prone to failures. On the other hand also analyzed times mean time between failures(TMBF), average repair time (MTTR), operation time (T_o), the failure rate (λ), ideal reliability (R_t), Availability (D).

Subsequently with the collected data the study of times of operation and stop of the machinery was carried out, by means of the information of the registers of maintenance, consecutively the statistical analysis was carried out to determine the reliability by means of the distribution of WEIBULL of each machine and equipment, so much with the mathematical method as the graphical method, which allowed to give a more relevant criterion, on which position of the curve of the bath are the machines and the pertinent actions that must be carried out for a process of maintenance. The research was based on the standards NTP 331 and NTP 679 for WEIBULL and AMFE analysis respectively.

The software was programmed to determine reliability using the .m language of the specialised software and its GUIDE graphical interface editor.

Finally, several practical applications were made to verify the correct functioning of the program, demonstrate its functionality and scope, obtaining a program that is able to calculate the parameters of the Weibull distribution, reliability values and graph with precision at the height of some commercial software , with a simple user interface.

Keywords: Machine reliability, WEIBULL law, machine availability, extrusion area.

CAPÍTULO I

1.1 Tema

“ANÁLISIS DE FIABILIDAD DE MÁQUINAS Y EQUIPOS POR LA LEY DE WEIBULL EN EL ÁREA DE EXTRUSIÓN DE LA EMPRESA HOLVIPLAS S.A. Y SU INCIDENCIA EN LA DISPONIBILIDAD”

1.2 Planteamiento del problema

1.2.1 Contextualización

A nivel internacional, sobre todo en las empresas más competitivas se maneja el mantenimiento predictivo y planificado. Con el pasar de los años la fiabilidad se ha ido implementando poco a poco en diferentes industrias, en particular a la industria electrónica y microelectrónica, aplicándose en el análisis de los diversos componentes de los procesos industriales [1].

Xuzhou Keyuan Hydraulic Pressure Co. Ltd., con sede en la provincia de Jiangsu, al este de China, se esfuerza por alcanzar una sólida posición en la industria nacional de la maquinaria para la construcción, a la vez que pretende mejorar la fiabilidad de sus productos, abrirse a nuevos mercados y consolidar una reputación duradera como empresa líder en su sector [2].

Desde sus inicios, Keyuan se ha caracterizado por garantizar la fiabilidad de sus productos. Como resultado, las bombas hidráulicas de engranajes y los reductores de la empresa ahora dominan los mercados nacionales de las grúas móviles y la industria de la automoción [2].

La fiabilidad es clave para las empresas chinas de accesorios que suministran componentes a la industria de la maquinaria para la construcción. Las pequeñas y medianas empresas deben mejorar la fiabilidad de sus productos para ganarse la confianza de sus clientes [2].

Con el objetivo de aumentar la fiabilidad en la producción, y evitar las pérdidas por averías y sus costes asociados. Se implementa el mantenimiento preventivo, mantenimiento predictivo, mantenimiento proactivo, la gestión de mantenimiento asistida por ordenador, y el Mantenimiento Basado en Fiabilidad (Reliability Centred

Maintenance) RCM. El RCM como estilo de gestión de mantenimiento, se basa en el estudio de los equipos, en el análisis de los modos de fallo y en la aplicación de técnicas estadísticas y tecnología de detección. Se puede afirmar que el RCM es una filosofía de mantenimiento básicamente tecnológica [3].

En la actualidad es imprescindible, que las grandes y medianas empresas implementen una estrategia de mantenimiento predictivo que ayude a aumentar la vida de sus componentes, mejorando así la disponibilidad y confiabilidad de sus equipos [2].

En los países de Latinoamérica como Colombia y Argentina, la fiabilidad se ha convertido en uno de los puntos de estudio más importantes para el desarrollo tecnológico e industrial [2].

En nuestro país las empresas dependen en gran parte de los departamentos de mantenimiento, debido a la capacidad de estos para generar beneficios, al área de Producción la cual es el órgano principal de toda empresa. La principal ventaja que ofrece el Mantenimiento, radica en la consecución de que los “Sistemas Productivos” (SP) continúen desempeñando las funciones deseadas y de esta forma contribuir a conservar las actividades productivas, de las cuáles la empresa obtiene las utilidades económicas [3].

En nuestro medio al mantenimiento se le considera un gasto más, por lo que muchas veces las empresas esperan que las averías se presenten para revisar sus máquinas y equipos [2].

La presente investigación se desarrollara en la empresa Holviplas S.A. directamente en las máquinas y equipos que se encuentran en el área de extrusión. La cual no escapa de esta realidad, por lo que, si quiere mantener el ritmo actual de competencia debe mejorar el modo que realiza el mantenimiento. Resulta contraproducente que una empresa dedicada a la producción de tubería no tenga un plan de mantenimiento para sí misma, por lo que se generan paradas innecesarias y una disminución en la disponibilidad, que podrían manejarse si se planificara correctamente.

A través de este proyecto se busca determinar el porcentaje de fiabilidad de máquinas y equipos del área de extrusión de la empresa Holviplas S.A. mientras han sufrido un fallo, una vez estimada la fiabilidad se puede optimizar las tareas, decisiones o estrategias de mantenimiento, para mejorar la mantenibilidad de dichas máquinas, y asegurando en

cierta forma la máxima disponibilidad de las máquinas y equipo, lo que consigo trae beneficios económicos.

El estudio de la distribución Weibull es muy importante en teoría de la fiabilidad por ser una distribución muy versátil, los diferentes valores de sus parámetros pueden generar una familia de distribuciones cuyos casos específicos coinciden con otras distribuciones como la Exponencial, Normal y Raleigh, entre otras [4].

1.2.2 Análisis crítico

A nivel empresarial siempre resulta importante conocer que tan disponible esta la maquinaria dentro de sus procesos productivos, es de vital importancia conocer que áreas de trabajo necesitan mayor aplicación por parte del personal encargado de las actividades de mantenimiento.

En nuestro país, a nivel de industrias y de universidades no se ha realizado un análisis de la incidencia que tiene la fiabilidad sobre la disponibilidad de la Máquinas con la ayuda de modelos estadísticos tales como: la ley de WEIBULL a fin de determinar la incidencia en la disponibilidad de las mismas, en gran parte esta triste realidad se debe por el desinterés de las empresas por realizar las tareas de mantenimiento con ayuda de los avances tecnológico y ver al mantenimiento no como una inversión sino como un gasto. En las escuelas de nivel superior el conocimiento sobre el tema es muy superficial, siendo este totalmente teórico [2].

En la actualidad para las empresas dedicadas a la producción de tubería plástica las exigencias son cada vez más fuertes, por ello se debe estar actualizados, y garantizar la fiabilidad de las máquinas y equipos de la empresa HOLVIPLAS S.A. Pero para que esto ocurra debemos primero analizar el estado actual de los mismos, puesto que por el uso que tienen los equipos y máquinas han sufrido desgastes, daños, y en algunos casos están inutilizados, causa por la cual genera un bajo nivel de confianza, disponibilidad; es decir el nivel de fiabilidad que presentan actualmente máquinas y equipos de la empresa HOLVIPLAS S.A., podrían ser deficientes.

1.2.3 Prognosis

Es de gran importancia poner énfasis en la fiabilidad de las máquinas con las que cuenta la empresa Holviplas S.A., puesto que con el pasar el tiempo podrían presentarse daños

muy graves, con ello las máquinas dejarían de funcionar definitivamente y esto causaría un retraso en la producción, aumentando los costos de reparación y disminuyendo la productividad de la empresa.

De no realizar un análisis de la fiabilidad por la ley de weibull de máquinas y equipos no se podrá contar con la información necesaria que ayude a determinar la incidencia que tiene sobre la disponibilidad de los mismos en la empresa HOLVIPLAS S.A.

Para los ingenieros que trabajan en el área de mantenimiento es un reto y una necesidad evaluar la disponibilidad de las máquinas, con ello establecer mantenimiento basados en la fiabilidad para evitar las fallas y la paralización de las máquinas que en la mayoría de los casos son indefinidas, desde el punto de vista de la integridad humana encargada de la operación y mantenimiento del de las máquinas así como también desde el punto de vista económico.

Al no poner interés y desconocimiento de un plan maestro de mantenimiento, por parte de directivos y empleados de la empresa, se continuará llevando a cabo un plan de mantenimiento de las máquinas y equipos del área de extrusión de la empresa sin considerar modelos matemáticos y estadísticos que ayuden con el cumplimiento de normas y estándares de calidad.

1.2.4. Formulación del problema

¿La fiabilidad de máquinas y equipos analizada por la ley de Weibull en la empresa HOLVIPLAS S.A. incidirá en la disponibilidad de los mismos?

1.2.5. Preguntas directrices

¿Cuál es el estado actual de las máquinas y equipos en el área de extrusión de la empresa HOLVIPLAS S.A.?

¿Qué parámetros deberán considerarse para realizar un análisis AMFE para determinar los principales fallos en la maquinaria de la empresa HOLVIPLAS S.A.?

¿Cómo determinar una función que caracterice la fiabilidad de las máquinas en la empresa HOLVIPLAS S.A., mediante la ley de Weibull?

¿Qué elementos influyen en la disponibilidad de las máquinas en la empresa HOLVIPLAS S.A.?

1.2.6. Delimitación

1.2.6.1. Delimitación de contenido

El análisis de la fiabilidad por la ley de Weibull de máquinas y equipos se centrará en la incidencia que esta tiene en la disponibilidad de los mismos. Las materias que están relacionadas con nuestro tema de investigación son las siguientes: Gestión de Mantenimiento, Seguridad Industrial, Fiabilidad de Sistemas Mecánicos, Diseño de Experimentos; Diagnóstico Industrial.

1.2.6.2. Delimitación espacial

El presente estudio se ejecutará en el área de extrusión de la empresa HOLVIPLAS S.A., ubicada en el cantón Pelileo, provincia del Tungurahua. Km 11: Vía a Baños

1.2.6.3. Delimitación temporal

El presente estudio se desarrolló en los meses comprendidos entre junio de 2018 a Noviembre de 2019.

1.3. Justificación

El desarrollo de este trabajo de investigación se ve justificado por varios aspectos, uno de ellos es, disponer de gran información sobre la incidencia que tiene el análisis de la fiabilidad en la disponibilidad de máquinas y equipos, se dispondrá de un análisis del estado actual de las máquinas del área de extrusión, se realizó el estudio de tiempos para conocer MTBF (tiempo entre fallo) y el MTTR (Tiempo medio de reparación), para determinar la disponibilidad de la Maquinaria durante el período de estudio, además de un análisis AMFE que ayudara a determinar las máquina críticas.

La presente investigación se realizará con el fin de conocer la disponibilidad de máquinas y equipos del área de extrusión en la empresa HOLVIPLAS S.A., debido a que la empresa no cuenta con un estudio de estas características, aportando con un estudio que ayudará a mejorar la disponibilidad de las máquinas, reducir el empleo de mantenimientos correctivos, disminución de la probabilidad de un paro de actividades inesperado por la avería o fallo de cualquier máquina de las diferentes zonas de trabajo.

Con esta investigación se desarrollará la investigación científica y tecnológica como un aporte a la solución de uno de los problemas de las industrias manufactureras dedicadas a la elaboración de accesorios de PVC, con el fin de contribuir a la operación segura y confiable con esto apoyar al desarrollo sustentable del país.

La distribución de Weibull se emplea en estudios de fiabilidad de componentes por la gran diversidad de formas que este modelo puede tomar, dependiendo de los valores de los parámetros característicos. Esto nos permite usar un mismo modelo, independientemente de en qué forma varíe la tasa de fallos del componente en estudio, simplificando en gran medida la tarea de análisis de los resultados [4].

El empleo de la distribución Weibull permite calcular los tiempos óptimos para el mantenimiento y ayuda a tomar decisiones en diagnóstico y nuevas inversiones de proyectos [4].

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Analizar la fiabilidad de máquinas y equipos en el área de extrusión por la ley de Weibull en la empresa HOLVIPLAS S.A., y su incidencia en la disponibilidad.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar el estado actual de las máquinas y equipos de la empresa HOLVIPLAS S.A.
- Determinar los parámetros de un análisis AMFE para identificar los principales fallos en la maquinaria de la empresa HOLVIPLAS S.A.
- Determinar una función que caracterice la fiabilidad de las máquinas en la empresa HOLVIPLAS S.A., mediante la ley de Weibull.
- Determinar los elementos que influyen en la disponibilidad de las máquinas en la empresa HOLVIPLAS S.A.
- Realizar un plan de mantenimiento preventivo y predictivo previo al análisis de la fiabilidad mediante la ley de Weibull

CAPÍTULO II

2.1 Antecedentes Investigativos

Este trabajo investigativo se apoya en investigaciones realizadas con anterioridad por otros autores, entre ellos mencionamos los más importantes:

Sánchez. E, estudió el estado actual de las máquinas y equipos de los Laboratorios de Materiales y Taller de Soldadura de la Carrera de Ingeniería Mecánica, aplicando diferentes métodos de fallas como son: el AMFE (Análisis Modal de Fallas y Efectos) y Análisis de Criticidad, con los cuales determinó que las Máquinas y Equipos tienen diferentes complicaciones tanto en su estado físico como en su estado operacional. Además de estos métodos aplicados calculó la mantenibilidad y disponibilidad que fue necesario para calcular el índice de fiabilidad que presentan los laboratorios estudiado [2].

Ronquillo. H, estudió la disponibilidad de máquinas, de la empresa Agrocueros S. A, con miras a desarrollar un sistema de mantenimiento que ayuden a mejorar la disponibilidad de las máquinas, reduciendo el empleo de mantenimientos correctivos, reduciendo la probabilidad de un paro de actividades inesperado por la avería o fallo de cualquier máquina de las diferentes zonas de trabajo [3].

Apolo y Gordillo, determinaron la fiabilidad usando la distribución de Weibull del sistema de inyección de un motor en funcionamiento y sometidos fallos establecidos mediante un diseño de experimentos. Estos autores establecen decisiones de mantenimiento a realizar en función de la confiabilidad [4].

Freire. F, 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”, con la finalidad de disminuir los tiempos de reparación producidos por las fallas ocasionadas en los componentes de las máquinas y así poder evitar los paros innecesarios en la producción y en el inyectado de las suelas de zapatos [5].

2.2 Fundamentación teórica

2.2.1. Diseño mecánico

El diseño mecánico es el diseño de objetos y sistemas de naturaleza mecánica; piezas, estructuras, mecanismos y máquinas. En su mayor parte, el diseño mecánico hace uso de la matemática, las ciencias de materiales y las ciencias mecánicas aplicadas a la ingeniería como ciencias térmicas y de los fluidos entre otros. El diseño mecánico principia con la identificación de una necesidad y con una decisión de hacer algo al respecto. Después de muchas iteraciones, el proceso finaliza con la presentación de los planes para satisfacer tal necesidad [6].

2.2.2 Fiabilidad de sistemas mecánicos

Cuantificar la fiabilidad de un sistema o mejorar la fiabilidad de un sistema requiere, generalmente, considerar la estructura del sistema y la fiabilidad de sus componentes. Por tanto en el estudio de la fiabilidad de un sistema, el primer paso consiste en realizar un análisis de los modos de fallo de todos los componentes del sistema y sus efectos en el mismo. Este análisis se conoce como FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) o AMFE (Análisis de los Modos de Fallo y Efectos). Se desarrolló a mediados del siglo XX por ingenieros en armamento. El FMEA requiere un análisis cualitativo del sistema y sus componentes [7].

2.2.2.1. Modelos matemáticos de distribución de probabilidad de fallos

En la práctica, las distribuciones con funciones de riesgo monótonas son más realistas y, dentro de esta clase, existen unas pocas que se considera que proporcionan los modelos más razonables de fiabilidad de dispositivos [7].

Ley exponencial de fallos: Tasa de fallos constante. La distribución que se utiliza con más frecuencia para modelar la fiabilidad es la Ley exponencial porque es sencilla de tratar algebraicamente y se considera adecuada para modelar el intervalo de vida funcional del ciclo de vida del dispositivo. De hecho, la distribución exponencial aparece cuando la tasa de fallos es constante, es decir, la probabilidad de que una unidad que está trabajando falle en el próximo instante es independiente de cuánto tiempo ha estado trabajando. Esto implica que la unidad no presenta síntomas de envejecimiento: es

igualmente probable que falle en el instante siguiente cuando está nueva o cuando no lo está [7].

Ley Weibull: Tasas de fallos crecientes y decrecientes. Una gran mayoría de los equipos reales no tienen una tasa de fallos constante porque es más probable que fallen a medida que envejecen. Por ello, la distribución Weibull se utiliza frecuentemente en el desarrollo de modelos de fiabilidad. Tiene la ventaja de la flexibilidad a la hora de crear modelos de varios tipos de comportamiento de riesgo, y también es manejable algebraicamente. Se trata de la distribución más importante para recoger el comportamiento frente al fallo en sistemas mecánicos y electromecánicos [7].

2.2.2.2. Métodos de análisis de fallas

La confiabilidad se fundamenta en una serie de herramientas que permitan evaluar el comportamiento de los activos de una forma sistemática, con el fin de poder determinar el nivel de operatividad, la importancia del riesgo y las demás acciones de mitigación y de mantenimiento que se requiere, para asegurar su seguridad, integridad y continuidad operacional [8].

La confiabilidad con el fin de formular planes estratégicos para lograr la excelencia en la gestión del mantenimiento industrial se vale de múltiples herramientas.

Algunas más comúnmente usadas son:

- Análisis de Criticidad (CA)
- Análisis de los Modos y Efectos de Falla (FMEA)
- Análisis Causa Raíz (ACR)

Análisis de criticidad

Es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones. El Análisis de Criticidad permite así mismo identificar las áreas sobre las cuales se tendrá una mayor atención del mantenimiento en función del proceso que se realiza [3].

El análisis de criticidad permite identificar y jerarquizar por su importancia los elementos de una instalación sobre los que vale la pena dirigir recursos (humanos, económicos).

La forma esquemática de representar este tipo de herramienta se ilustra en la Figura 2.1

| | | | | | |
|-----------------------------|--------------|--------------------|---------------|--------------------|--------------|
| Alta frecuencia falla | | | | | |
| Medio/Alta frecuencia falla | | | | | |
| Media frecuencia falla | | | | | |
| Medio/Bajo frecuencia falla | | | | | |
| Baja frecuencia falla | | | | | |
| | Bajo impacto | Medio/Bajo impacto | Medio impacto | Medio/Alto impacto | Alto impacto |

Fig. 2.1. Matriz Análisis de Criticidad
Fuente: Autor

Análisis causa raíz

Es una técnica sistemática que se aplica con el objetivo de determinar las causas que originan las fallas, sus impactos, consecuencias y frecuencias de aparición, con el propósito de prevenirlas mitigarlas o eliminarlas [9].

Hablando en términos generales sobre lo que es el ACR podemos describirlo como una herramienta diseñada para ayudar a los profesionales a identificar no sólo qué y cómo se produjo un evento no deseado (falla, problema o accidente u incidente particular), sino también podremos saber cómo sucedió, hacer frente a un problema, con el fin de llegar a la causa (raíz) de dicha problemática además de que nos ayuda a corregir o eliminar y evitar que el problema tenga que volver a ocurrir. Es fundamental tomar en cuenta los puntos que rodean al ACR como se muestra en la Figura.2.2 [10].

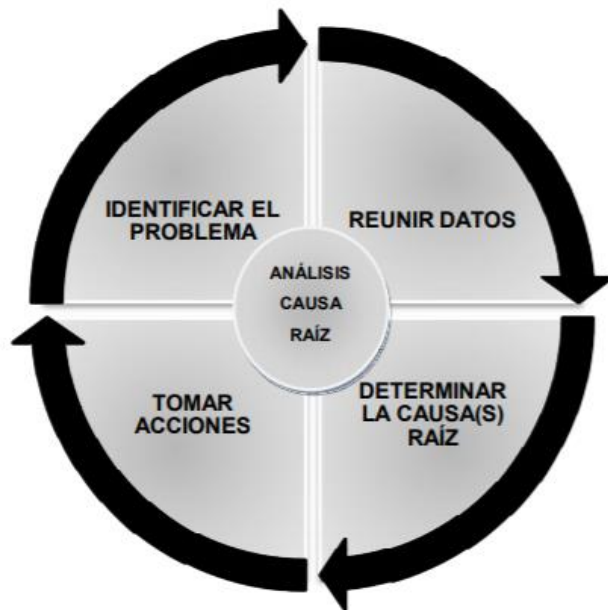


Fig. 2.2. Diagrama Causa-Raíz [10].

Análisis de los modos y efectos de falla (FMEA O AMFE)

Es un método muy riguroso de análisis que se basa todas las experiencias y competencias disponibles de los estudios, métodos, mantenimiento, fabricación, calidad. Es un método inductivo y cualitativo que permite inspeccionar el conjunto de los órganos de un sistema o instalación, definiendo [11].

- Los tipos de fallos reales o potenciales
- Causas posibles
- Consecuencias
- Medios para evitar sus consecuencias

Su objetivo principal es identificar las causas de fallos que aún no se producen, evaluando su criticidad. En definitiva, es una búsqueda sistemática de tipos de fallos, sus causas y sus efectos. Precisa un tratamiento de grupo multidisciplinar, lo cual constituye una ventaja adicional por el enriquecimiento mutuo que se produce [11].

Se realiza mediante una hoja estructurada que guía el análisis.

a. Funciones

Se describen las especificaciones (características) y expectativas de desempeño que se le exigen al activo físico que se está analizando. Cubren por tanto no solo el volumen de

producción, sino las expectativas relacionadas con cuestiones como calidad del producto, control, contención, protección, cumplimiento de normas medioambientales, integridad estructural e incluso aspecto físico del activo [11].

b. Fallo funcional

Se refiere a la falta o incumplimiento de la función. El fallo funcional se define como la incapacidad de un ítem para satisfacer un parámetro de desempeño deseado [11].

c. Modo de fallo

Forma en que el dispositivo o el sistema pueden dejar de funcionar o funcionar anormalmente. El tipo de fallo es relativo a cada función de cada elemento. Se expresa en términos físicos: rotura, aflojamiento, atascamiento, fuga, agarrotamiento, cortocircuito, etc [11].

d. Causa raíz

Anomalía inicial que puede conducir al fallo. Un mismo tipo de fallo puede conducir a varias causas: Falta de lubricante, lubricante en mal estado, suciedad, etc [11].

e. Consecuencia

Efecto del fallo sobre la máquina, la producción, el producto, sobre el entorno inmediato.

La valoración proporciona una estimación numérica de los respectivos parámetros:

F: Frecuencia. Estimación subjetiva de la ocurrencia del modo de fallo.

G: Gravedad. Estimación subjetiva de las consecuencias.

D: Detección. Estimación subjetiva de la probabilidad de ser detectado el fallo potencial.

NPR: Número de Prioridad de Riesgos. Producto de F, G y D.

| HOJA DE TRABAJO AMFEC | | | | | | | | | |
|-----------------------|-----------------|---------------|----------------|--------|------------|---------------|----------|-----|---------------|
| SECCIÓN: | | | REALIZADO POR: | | | | HOJA Nº: | | |
| EQUIPO/TAG: | | | FECHA: | | | NOMBRE FICHA: | | | |
| FUNCIÓN | FALLO FUNCIONAL | MODO DE FALLO | CAUSA RAIZ | EFECTO | VALORACIÓN | | | | RECOMENDACIÓN |
| | | | | | F | G | D | NPR | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

Fig. 2.3. Hoja de trabajo AMFEC [11].

Una posible escala de valoración sería:

F: Frecuencia (1-10)

Tabla 2. 1. Clasificación de la frecuencia/ probabilidad de ocurrencia del modo de fallo [12].

| 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. | 3-4 |
| 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 |

G: Gravedad (1-10)

Tabla 2. 2. Clasificación de la gravedad del modo fallo [12].

| 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 crítico 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 |

D: Detección (1-10)

Tabla 2. 3. Clasificación de la facilidad de detección del modo de fallo [12].

| 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 |

Número de prioridad de riesgo NPR

Dentro del desarrollo del AMEF se determina el NPR (Número de prioridad de riesgo), el cual se da por la multiplicación por tres índices de probabilidad, los cuales son la gravedad o severidad, el nivel de ocurrencia y por la facilidad de detección, como se muestra en la siguiente expresión [13]:

$$\text{NPR} = \text{Gravedad} \times \text{Ocurrencia} \times \text{Detección}$$

Las características de análisis del NPR (Número de Prioridad de Riesgo) se enuncian en la Tabla 2.4.

Tabla 2. 4. Clasificación de la facilidad de detección del modo de fallo [13].

| | |
|----------------|------------------------|
| NPR > 200 | Inaceptable (I) |
| 200 > NPR >125 | Reducción deseable (R) |
| NPR <125 | Aceptable (A) |

2.2.3. Análisis de fiabilidad de máquinas y equipos por la ley de Weibull

2.2.3.1. La distribución de Weibull

La distribución de Weibull permite estudiar cuál es la distribución de fallos de un componente, 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, 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 [14].

El estudio de la distribución Weibull es muy importante en teoría de la confiabilidad por ser una distribución muy versátil que puede aproximarse a la distribución Exponencial, Normal y Raleigh. Tales características son útiles para modelar diferentes tipos de fallas: tempranas, aleatorias y fallas debido a la obsolescencia del equipo [15].

La distribución de Weibull encierra a otras distribuciones, es decir, según los valores que definen la distribución de la función de Weibull se puede describir otras funciones como la normal o la exponencial. La función de densidad de probabilidad de la distribución de Weibull se muestra mediante la siguiente ecuación [15]

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp\left(-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}\right) \quad \text{Ec. 2.1}$$

2.2.3.2. Características generales

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

$$R(t) = \exp\left[-\int \lambda(t) dt\right] \quad \text{Ec. 2.2}$$

Donde:

$\lambda(t)$ =Tasa de fallos

$R(t)$ = Fiabilidad

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

t =Tiempo

En 1951 Weibull propuso la expresión más simple con la que se podría representar una gran cantidad de datos reales por lo que expresión que representa la fiabilidad es:

$$R(t) = \exp \left[-\left(\frac{t-t_0}{\eta} \right)^\beta \right] \quad \text{Ec. 2.3}$$

Donde:

t_0 =parámetro inicial de localización

η =parámetro de escala o vida característica

β =parámetro de forma

2.2.3.3. 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 [14]:

- a) $t_0 = 0$: el mecanismo no tiene una duración de fiabilidad intrínseca, y.
 - 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.
 - si $\beta = 1$ la tasa de fallo se mantiene constante siempre lo que nos indica una característica de fallos aleatoria o pseudoaleatoria. En este caso nos encontramos que la distribución de Weibull es igual a la exponencial.
 - 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.
 - 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:
- 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 b más elevados ($\sim 0,8$) con ciclos más altos.
 - 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.
- si $\beta < 1$ podría tratarse de un fallo de juventud antes de su puesta en servicio, como resultado de un margen de seguridad bajo.
 - 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.

2.2.3.4. Interpretación del gráfico Weibull

La tasa de fallos varia en el tiempo, su representación se asemeja a una bañera, puesto que la vida de los dispositivos tiene un comportamiento el cual es representado en tres etapas [16].

La distribución de Weibull provee una idea acerca de los mecanismos de falla, con las diferentes pendientes o parámetro forma, implicando en las diferentes formas de falla.

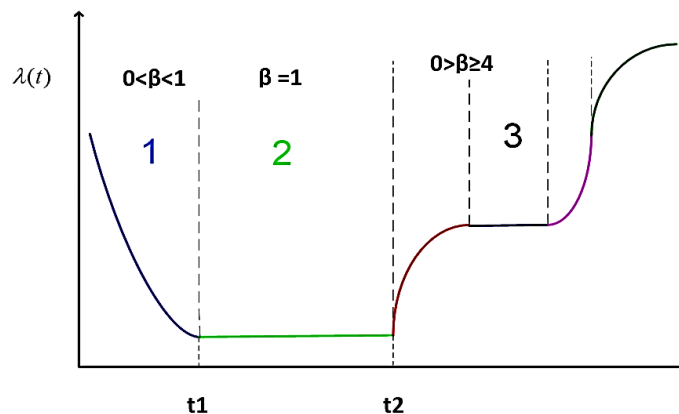


Fig. 2.4. Curva de la bañera Weibull [16].

$\beta < 1$ Mortalidad Infantil

Al ejecutar nuevos proyectos, diseños los equipos mecánicos pueden iniciar con alto grado de falla, a continuación se detallan varios modos de falla son:

- Reparaciones inadecuadas o fuerzas, presiones ocultas.
- Problemas de producción
- Problemas de ensamble.
- Problemas de control de calidad.
- Problemas de inspecciones programadas.
- Fallas en componentes eléctricos.

$\beta = 1$ Falla aleatoria

En este rango las fallas son igual a una distribución exponencial.

- Errores de mantenimiento / errores humanos
- Fallas debido a naturaleza, daños u objetos desconocidos, rayaduras.
- Mezcla de datos de 2 o más modos de falla.
- Intervalos entre fallas.
- Inspecciones programadas no apropiadas.

$1 < \beta < 4$ Falla por deterioro temprano

Las fallas para este intervalo son:

- Bajo un ciclo de fatiga.
- Muchas fallas de rodamientos.
- Corrosión.
- Erosión.

$\beta > 4.0$ Deterioro rápido por edad de uso

Los modos de falla para componentes con edades muy viejas o por su uso pesado son:

- Corrosión por esfuerzos.
- Propiedades de los materiales.
- Algunas formas de erosión.

Ventajas

- Precisión razonable en el análisis de fallas.

- Provee un simple y poderoso gráfico, medición de vida, arranques, paradas, operación, ciclos de misión vs. % acumulado de fallas.
- Los parámetros β (Beta, a pendiente) proveen una filosofía de falla y η (Eta, característica de vida) tiempo de falla
- El análisis de Weibull está relacionado con el MTTF.

2.2.3.5. Diagrama de Weibull

El papel de Weibull (fig. 2.5 y 2.6) está graduado a escala funcional de la siguiente forma:

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

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

Existen tres casos posibles en función del valor de t_0

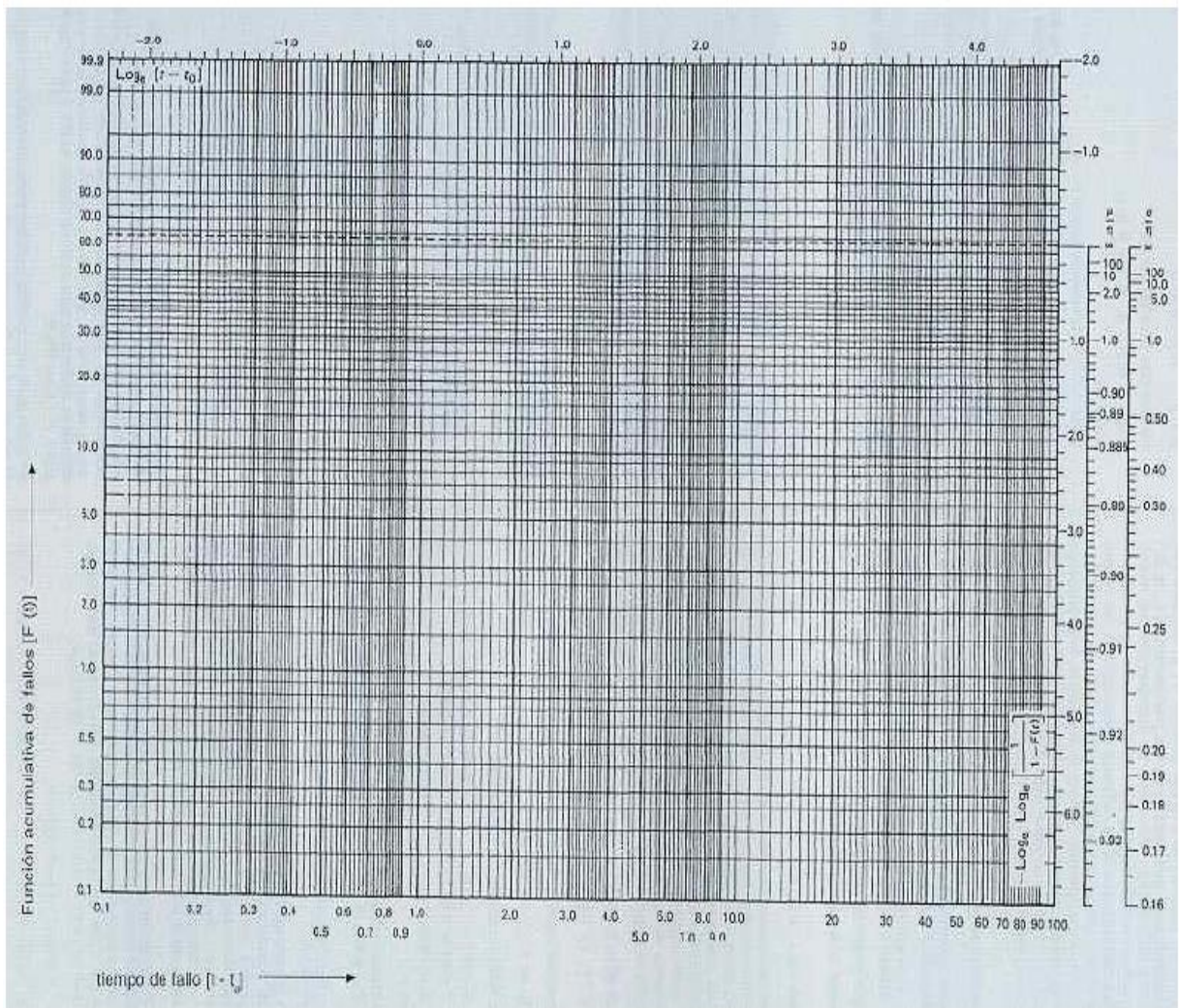


Fig. 2.5. Muestra del papel Weibull [14].

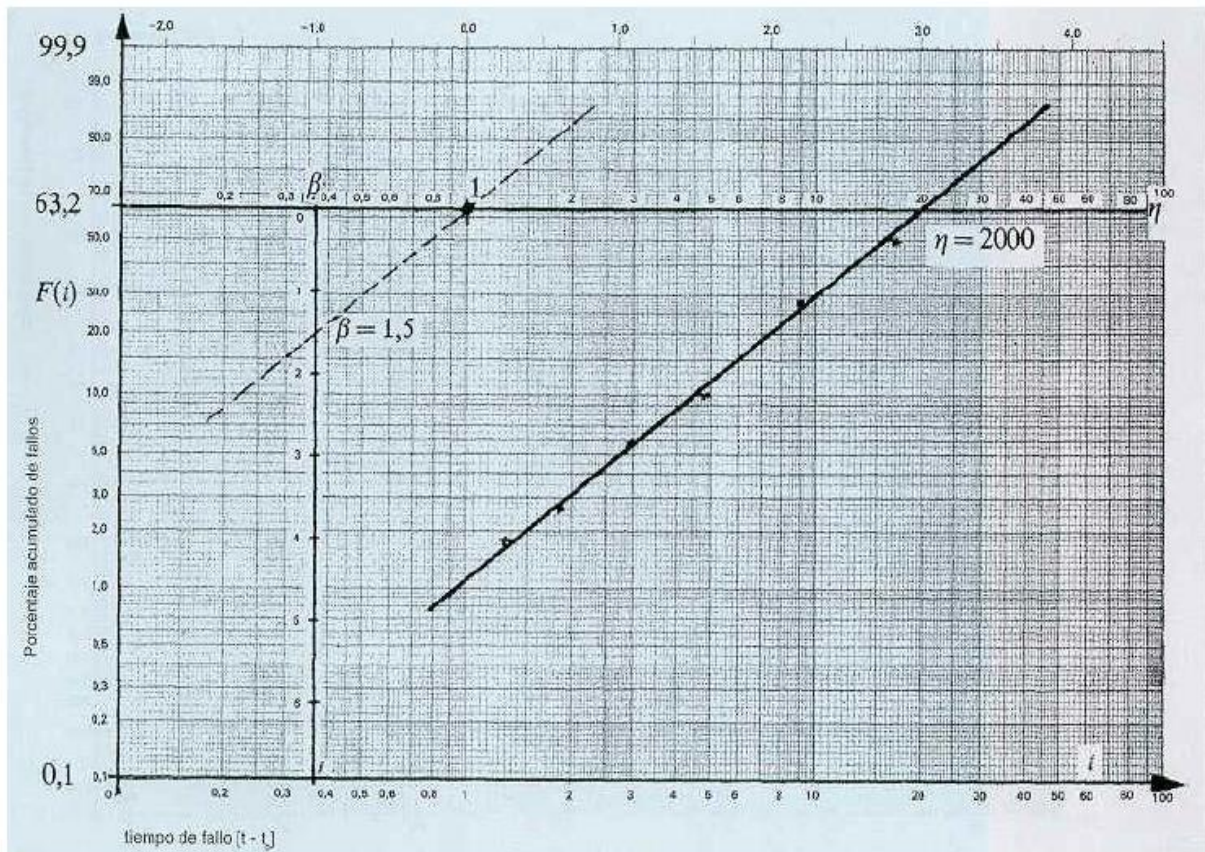


Fig. 2.6. Lectura de los parámetros η y β en el papel de Weibull [14].

2.2.3.6. Método gráfico de Weibull

Procedimiento de cálculo por método gráfico de Weibull

Para determinar los parámetros de weibull, utilizaremos las tablas y los gráficos especificados en la NTP 331, tomando en consideración el papel Weibull y los datos de los estadísticos de cada máquina y equipo.

A continuación se describen los pasos para determinar la fiabilidad de Weibull por el método gráfico [17].

Pasó 1.

Este paso se considera como previo debido a que el usuario debe identificar claramente cada uno de los términos y componentes que conforman a la gráfica de Weibull. La Figura 2.7 se muestra las celdas enumeradas del 1 al 9, la misma que servirán para identificar claramente cuando apliquemos el procedimiento gráfico [17].

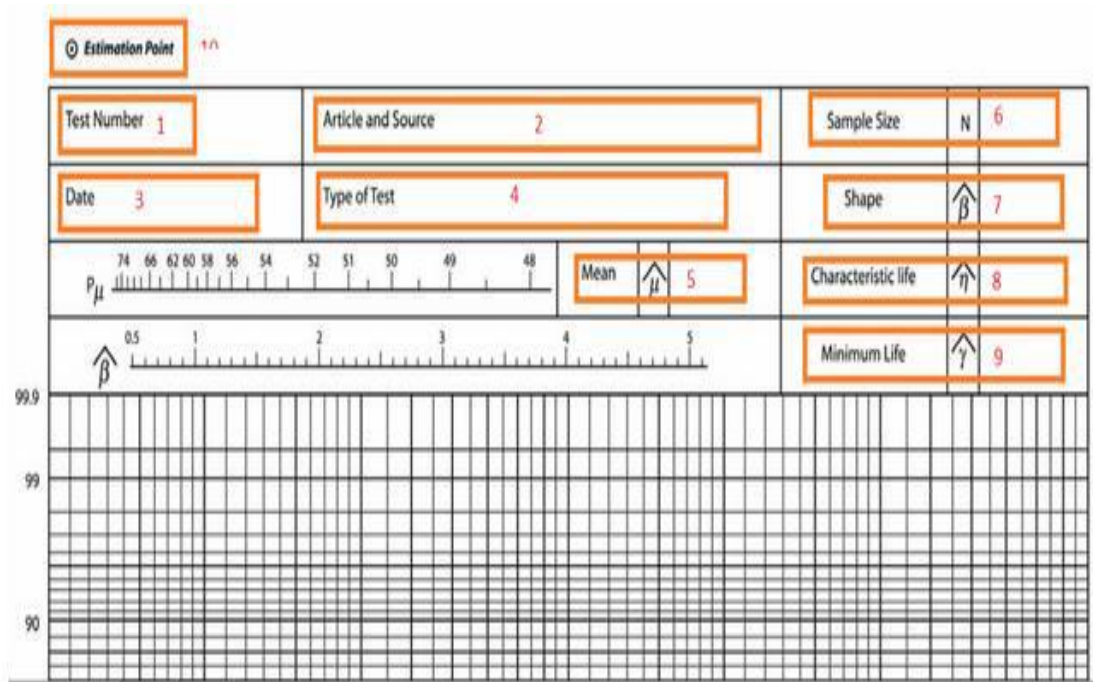


Fig. 2.7. Identificación de los componentes de la Figura de Weibull [17].

Las celdas de la Figura 2.7. Se detallan a continuación:

- 1.- Número de prueba.
- 2.- Elemento, máquina o componente a evaluar.
- 3.- Fecha.
- 4.- Tipo de test
- 5.- Promedio de tiempo de fallas.
- 6.- Tamaño de la muestra
- 7.- Beta (B), parámetro de forma
- 8.- N, parámetros de escala o vida característica.
- 9.- Gamma, parámetro de posición.
- 10.- Punto de referencia para Figura nuestras rectas en el gráfico, con este punto de referencia para hallar los valores de P_{μ} y B.

Pasó 2.

Tabular el registro de las fallas con sus respectivos tiempos. Esta tabla de valores servirá para obtener los parámetros que definan la distribución de Weibull, una vez tabulado se procede a estimar el porcentaje de fallas acumulativa en función de la distribución acumulativa $F(t)$, la misma que se calcula con la Ecuación 2.4 [17].

$$\sum_r \frac{n}{r} = \frac{n!}{r!(n-r)!} [f(t)]^r [1 - f(t)]^{n-r} = 0,5 \quad \text{Ec. 2.4}$$

Dónde:

r: Número de orden de la observación (falla)

n: Tamaño del ejemplo o de la muestra (número de ítem)

f(t): Función variable tiempo

Pasó 3

Se procede a ordenar los datos de la columna (t) tabulados de menor a mayor en la Tabla 2.5 Para demostrar el procedimiento, en este caso asumiremos como ejemplo 10 registros de vida de un componente hidráulico. Los registros de falla han sido obtenidos a través de la información de las empresas dedicadas a la producción de calzado, donde utilizan maquinaria semiindustrial no automática [17].

Tabla 2. 5. Datos de fallas (Elemento ejemplar) [17].

| Orden de falla | Tiempo en que se produjo las fallas (Días) |
|----------------|--|
| i | t |
| 1 | 1716 |
| 2 | 2088 |
| 3 | 2265 |
| 4 | 2756 |
| 5 | 3058 |
| 6 | 3941 |
| 7 | 5036 |
| 8 | 7049 |
| 9 | 8923 |
| 10 | 9034 |

Paso 4.

Ingresamos una columna de celdas a la derecha y calculamos el valor de la madia. Que es una relación entre un conjunto de elementos tales que para uno o varios criterios, el primero de ellos presenta un valor superior al segundo, este a su vez mayor que el tercero y así sucesivamente, el orden se refleja asignando a cada elemento. Para calcular el rango medio se establece la siguiente ecuación y sus valores se detallan en la Tabla 2.6 [17].

$$F(i) = \frac{i-0,3}{n+0,4} \quad \text{Ec. 2.5}$$

Tabla 2. 6. Valores de orden de falla (i), Tiempos de fallo y rango medio (Mr) [17].

| Orden de falla | Tiempo en que se produjo las fallas (Días) | Rango Medio |
|-----------------------|---|--------------------|
| i | T | Mr |
| 1 | 1716 | 0,06730769 |
| 2 | 2088 | 0,16346154 |
| 3 | 2265 | 0,25961538 |
| 4 | 2756 | 0,35576923 |
| 5 | 3058 | 0,45192308 |
| 6 | 3941 | 0,54807692 |
| 7 | 5036 | 0,64423077 |
| 8 | 7049 | 0,74038462 |
| 9 | 8923 | 0,83653846 |
| 10 | 9034 | 0,93269231 |

Paso 5.

Calculamos los valores F (t) multiplicando por 100 a los valores de media Rank. Obteniendo la Tabla 2.7.

Tabla 2. 7. Valores F (t) (elemento ejemplar) [17].

| Orden de falla | Tiempo (Horas) | F(t) |
|-----------------------|-----------------------|-------------|
| i | T | F(t) |
| 1 | 1717 | 8,33333333 |
| 2 | 2082 | 20,2380952 |
| 3 | 2263 | 32,1428571 |
| 4 | 2751 | 44,047619 |
| 5 | 3065 | 55,952381 |
| 6 | 3945 | 67,8571429 |
| 7 | 5093 | 79,7619048 |
| 8 | 7062 | 91,6666667 |

Pasó 6

Graficamos los puntos (t; F (t)) con las siguientes consideraciones. En el eje X van los valores de “t” y en el eje “Y” van los valores F (t). Como se observa en la Figura 2.8.

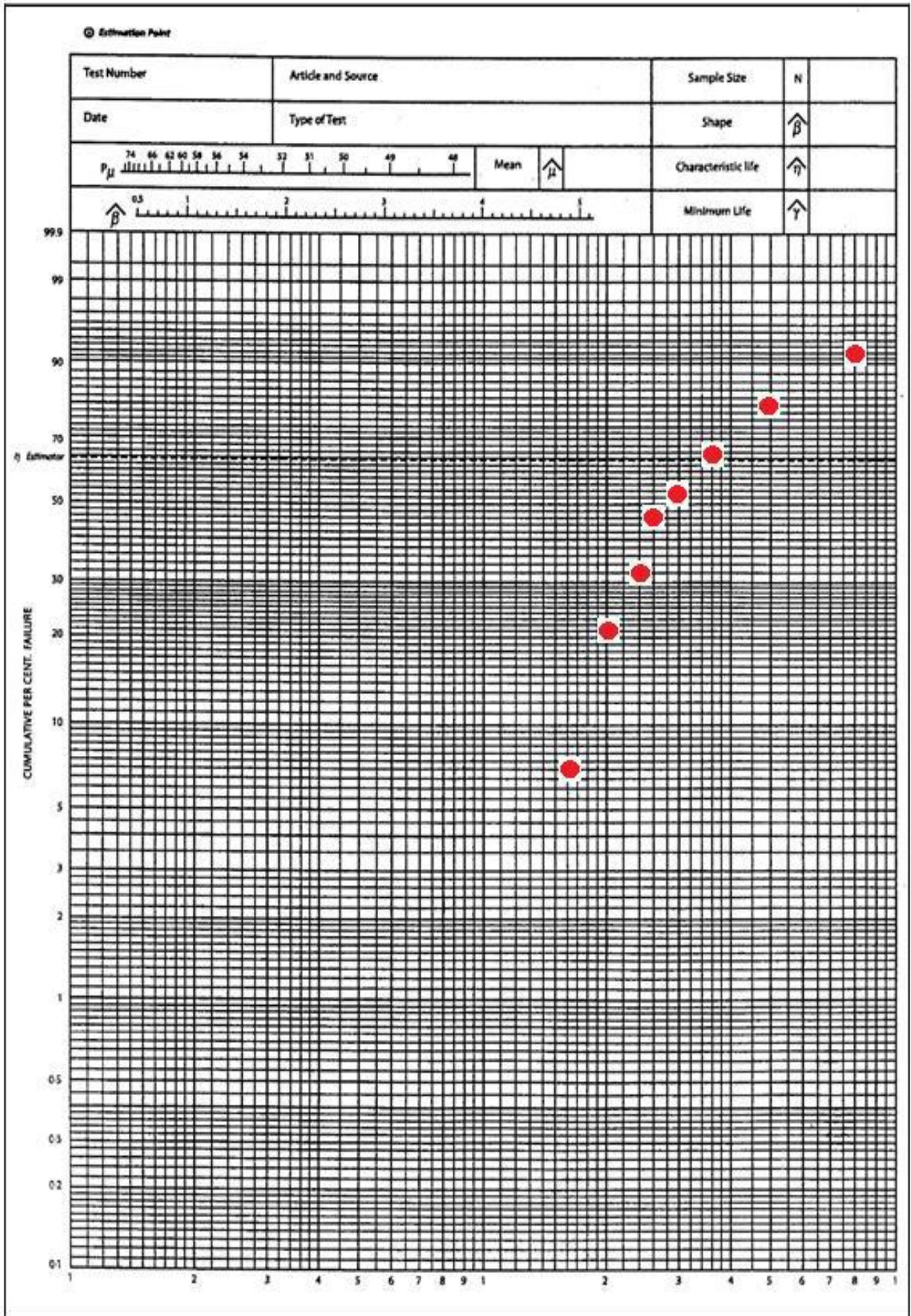


Fig. 2.8. Ubicación de puntos $[t; F(t)]$ en Figura de Weibull [17].

Pasó 7

Después de graficados los puntos, trazamos una línea de color amarillo, tratando de que cubra todos los puntos $[i; F(t)]$ graficados, como se muestra en la Figura 2.9. Es preferible manejar un mayor número de datos.

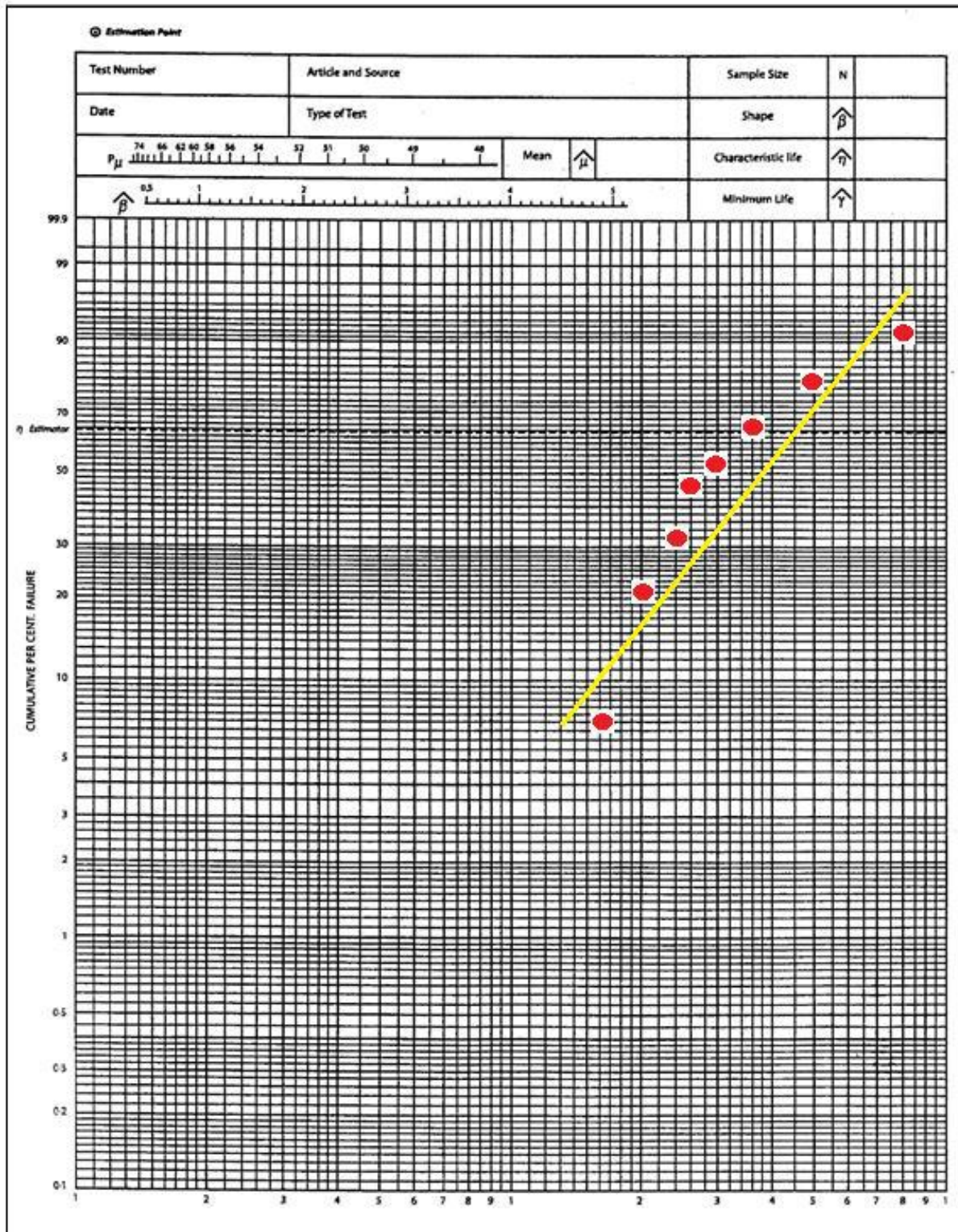


Fig. 2.9. Trazado de línea sobre puntos [17].

Pasó 8

Luego haciendo referencia al punto (Estimación point) que se encuentra al lado izquierdo superior de la hoja, se debe trazar una línea (Color azul) que cruce en forma perpendicular a la recta antes trazada (Línea de color amarillo) [17]. Como se observa en la Figura 2.10.

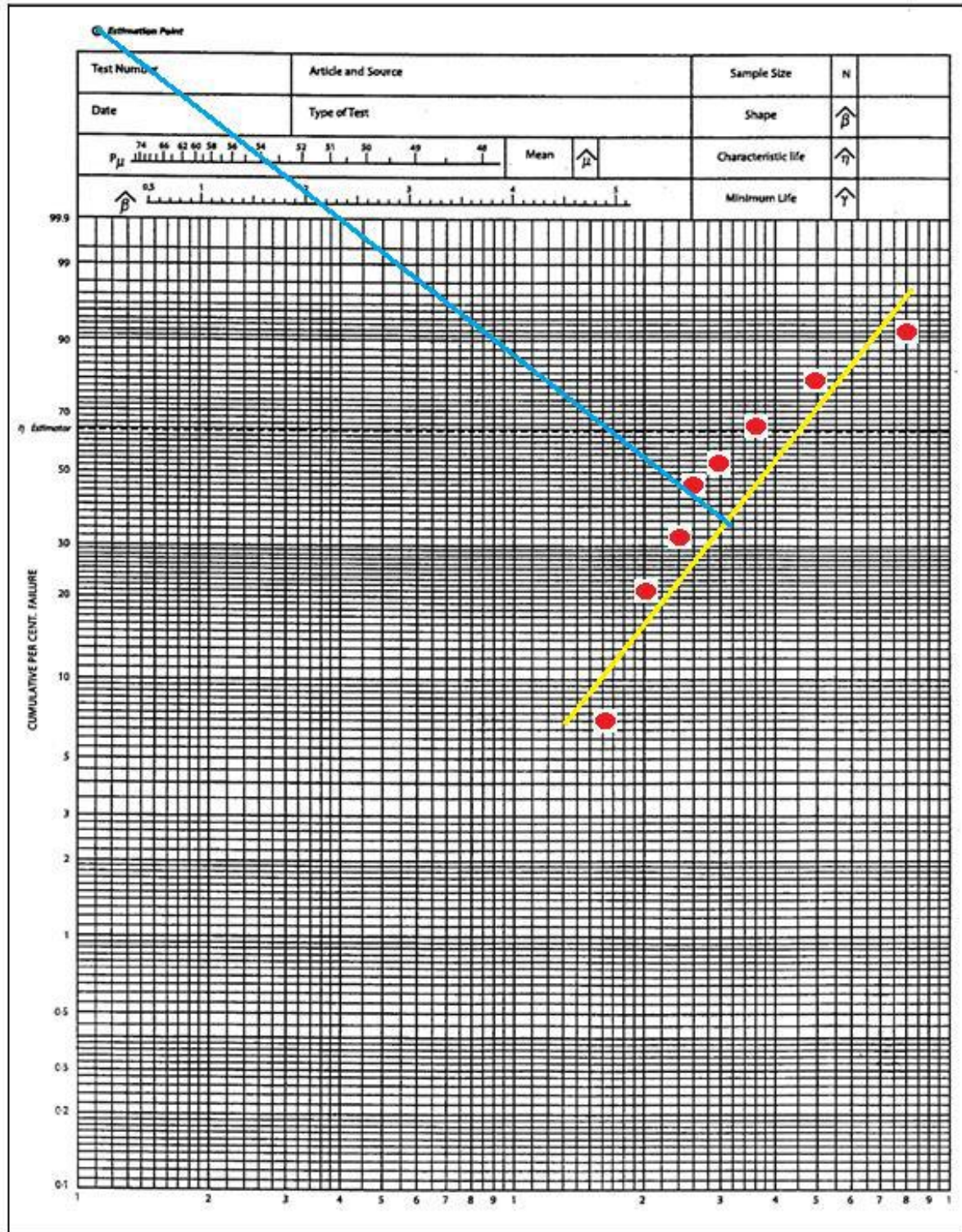


Fig. 2.10. Trazado de línea perpendicular a la línea aproximada en puntos [17].

Pasó 9

Si observamos con detalle, encontramos que la recta de color azul realizada, cruza 2 rectas ubicadas en la esquina superior izquierda, conocida como recta Pu y recta B. Estas rectas están graficadas a escala y en el cruce de estas rectas obtenemos los siguientes valores 1.9 en la una recta b y un valor de 58% en la recta Pu, el cual nos servirá para encontrar la media para la falla (μ). Con el valor obtenido (58%) trazamos una recta horizontal hasta encontrar a la recta inicial (Línea de color tomate), a continuación proyectamos esa recta al pie del eje x y encontramos el valor de la media (MTBF), en este caso es 4.2, valor que debe ser, multiplicado por 1000 teniendo 4200. En la Figura 2.11 se muestra el trazado de las líneas generadas [17].

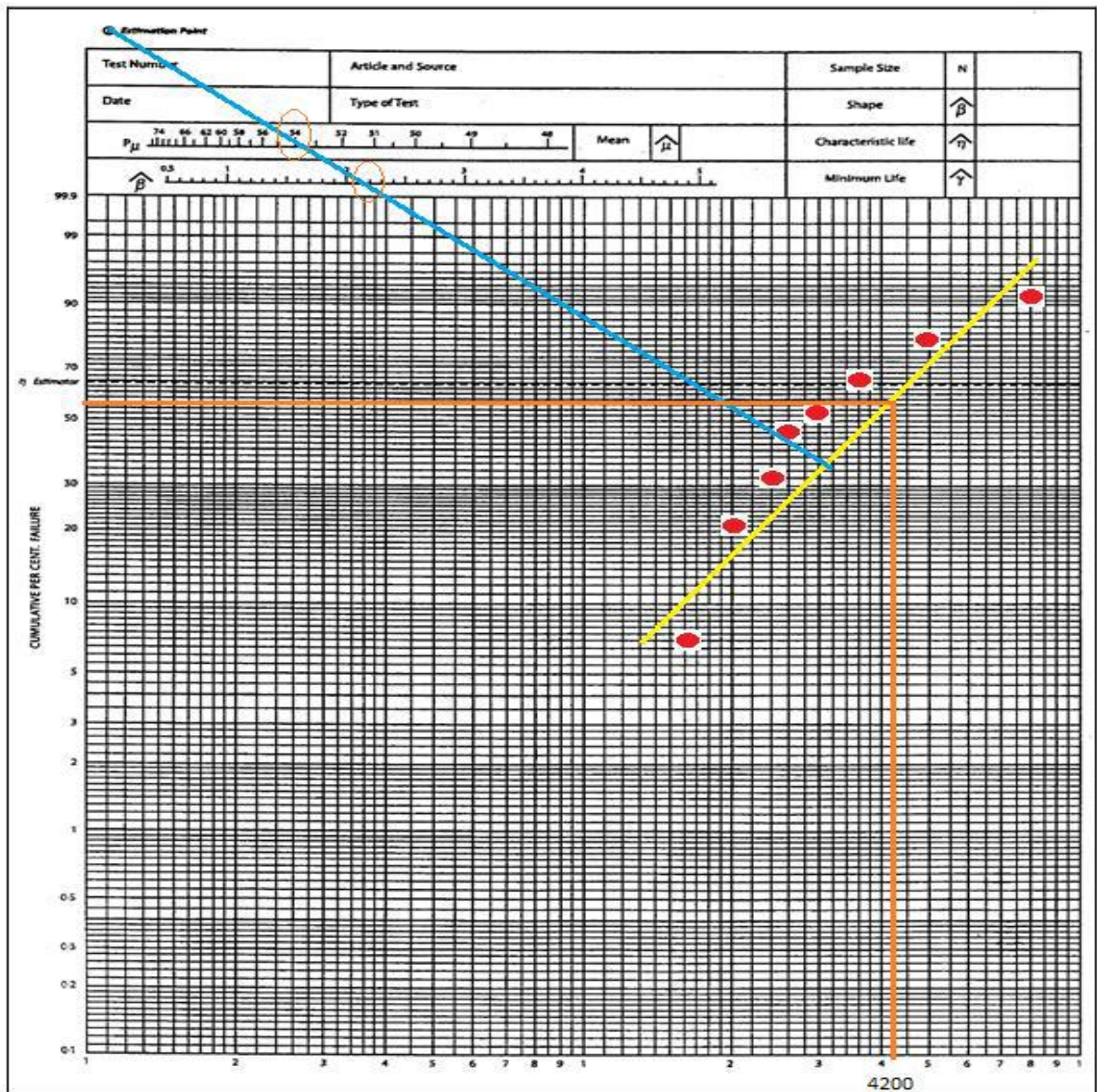


Fig. 2.11. Determinación del factor β y factor μ [17].

Pasó 10

Trazamos una línea horizontal partiendo del punto denominado "n" estimador, hasta cruzarla con la línea inicial de color negro, se continua con una proyección perpendicular hasta llegar al componente en el eje X. teniendo en este caso un valor estimado de 4700 como se muestra en la Figura 2.12 [17].

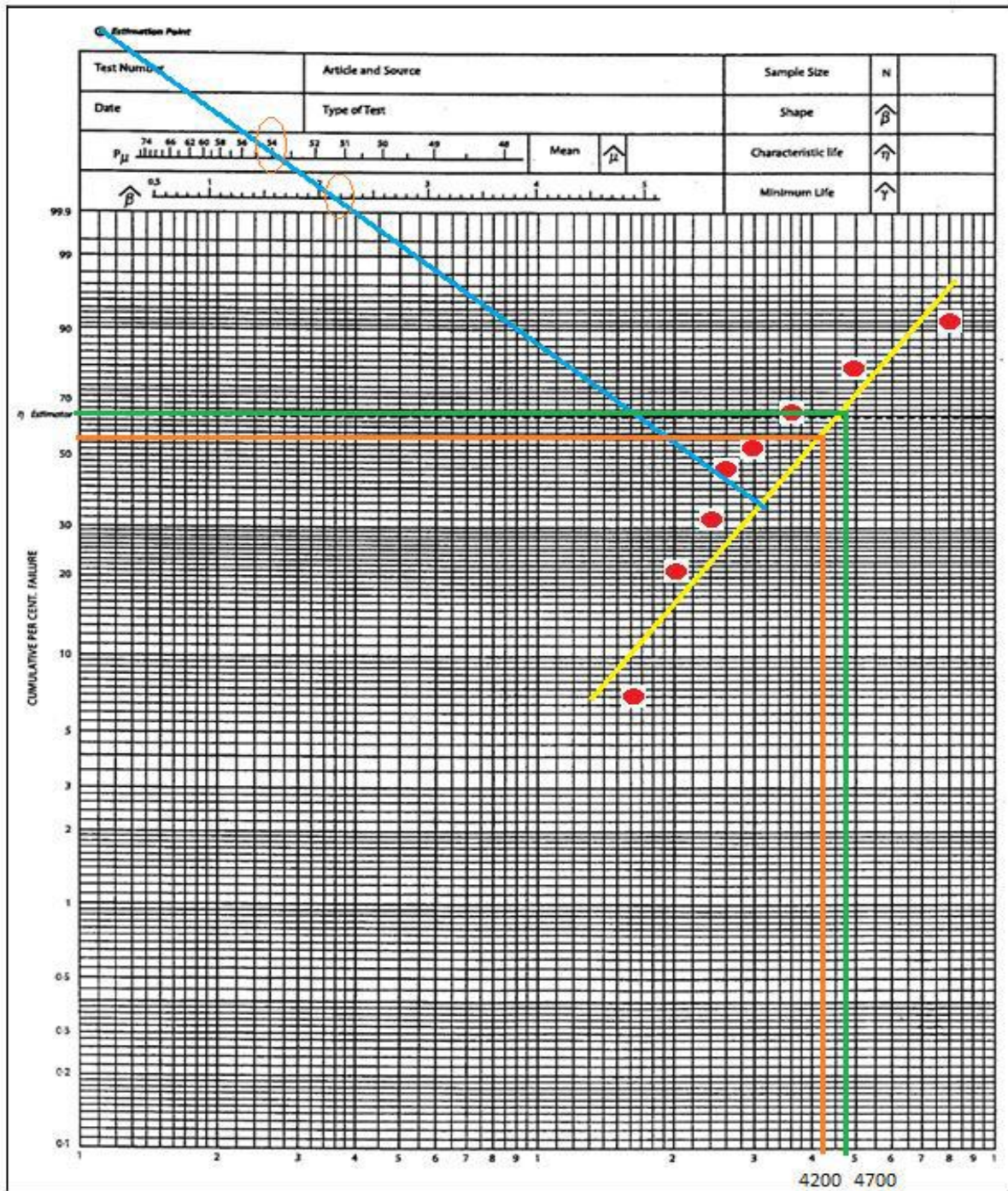


Fig. 2.12. Obtención del factor n estimador [17].

Con el paso Número 10 obtuvimos todos los parámetros establecidos en el procedimiento gráfico de Weibull que son los que se presentan en la Tabla 2.8.

Tabla 2. 8. Parámetros de la curva de Weibull (elemento ejemplar) [17].

| | | |
|---------|------|---------------------------------|
| β | 2.2 | Valor Beta |
| η | 4200 | Dato para confiabilidad |
| u | 4700 | Dato para probabilidad de falla |

Pasó 11

Con los valores de los parámetros de Weibull ya se puede calcular la fiabilidad $R(t)$ utilizando la ecuación 2.6 y realizar las gráficas de Fiabilidad vs Tiempo.

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad \text{Ec. 2.6}$$

Donde:

t = Tiempo de operación (h)

β = Parámetro de forma: es la pendiente de la recta que describe el grado de variación de la tasa de

γ = Parámetro de localización – la vida mínima ($\gamma = 0$)

n = Parámetro calculado del papel Weibull [17].

2.2.3.7. Método matemático de Weibull

De acuerdo al Weibull Handbook, la distribución de Weibull se utiliza frecuentemente en el análisis de la fiabilidad para modelar datos de tiempo por falla como, por ejemplo, la probabilidad de que una parte falle después de uno, dos o más años. La distribución de Weibull se describe según los parámetros de forma, escala y valor umbral [18].

En el análisis Weibull es de mucha importancia conocer el significado de término “falla”, falla es cualquier incidente o condición que cause la degradación de un producto, proceso o material de tal forma que ya no pueda realizar las funciones de una manera segura, confiable y a un costo razonable para el que fue concebido; estas fallas ocurren de manera incierta y son influenciadas por el diseño, manufactura o construcción, mantenimiento y operación, así como también factores humanos [19].

Las funciones Weibull de confiabilidad y de tasa de falla propuestas por Waloddi Weibull, están dadas por las siguientes ecuaciones:

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t-\gamma}{\alpha} \right)^{\frac{1}{\beta}} \right] \quad \text{Ec. 2.7}$$

$$F(t) = 1 - R(t) \quad \text{Ec. 2.8}$$

Donde:

R (t)= Fiabilidad o Confiabilidad

β = parámetro de forma y es el indicador de mecanismo de falla

α = parámetro de escala – vida característica

γ = parámetro de localización- la vida mínima. Cuando $\gamma = 0$

F (t) – Infiabilidad o Función acumulativa de fallos

Cabe mencionar que el parámetro de localización γ es 0 debido a que dicho parámetro indica, en el tiempo a partir del cual se genera la distribución de Weibull, por ende, como las máquinas del área de extrusión no constan de un plan de mantenimiento y siendo la primera vez que se aplica a estas máquinas la distribución de Weibull se considera el parámetro de localización 0 [19].

Para la determinación de los parámetros β y α , es necesario calcular los valores de la media aritmética (\bar{x}), la varianza (S^2), la desviación estándar (S), el tiempo de falla de cada evento (t_i) y el número de datos o eventos (n), mediante los datos del estadístico de cada máquina y equipos a partir de las ecuaciones siguientes [19]:

Media aritmética

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n \ln(t_i)}{n} \quad \text{Ec. 2.9}$$

Varianza

$$S^2 = \frac{(\sum \ln(t_i) - \bar{x})^2}{(n-1)} \quad \text{Ec. 2.10}$$

Desviación estándar

$$S = \sqrt{S^2} \quad \text{Ec. 2.11}$$

Parámetro β

$$\beta = \frac{\pi}{s\sqrt{6}} \quad \text{Ec. 2.12}$$

Parámetro α

$$\alpha = \exp\left(\bar{x} + \left(\frac{0.5772}{\beta}\right)\right) \quad \text{Ec. 2.13}$$

2.2.4 Mantenimiento industrial

El mantenimiento industrial son técnicas y métodos que permiten predecir las averías, realizar las revisiones necesarias de partes fijas y móviles efectuando reparaciones eficientes, amparándose en normas de buen funcionamiento el operario de las máquinas, contribuye positivamente a los beneficios de la empresa. Es un medio de estudio que busca lo más beneficioso para las máquinas, alargar su vida útil [20].

También la normativa UNE-EN 13306, define al mantenimiento como “el conjunto de operaciones ya sean: técnicas, administrativas o de gestión que son realizadas con el fin de conservar o precautelar el estado de un elemento y así prolongar su vida útil” [19]. [21].

2.2.5. Indicadores de gestión de mantenimiento

“Los indicadores de gestión de mantenimiento son indicadores técnicos de control que están relacionados con localidad de la gestión o con la productividad del departamento, que permite ver el comportamiento y el rendimiento operacional de las instalaciones, sistemas y equipos, y además mide la calidad de los trabajos y el grado de cumplimiento de los planes de mantenimiento” [3].

Los indicadores de gestión de categoría mundial más utilizados son:

- a) La confiabilidad (C)
- b) Disponibilidad (D)
- c) Mantenibilidad (M)
- d) Tiempo promedio en fallos (MTBF)

- e) Tiempo promedio operativo ((MTTF)
- f) Tiempo promedio para reparar (MTTR)

2.2.5.1. Confiabilidad

Se define como la confianza que un componente, equipo o sistema desempeñe su función básica, durante un período de tiempo preestablecido, bajo condiciones estándares de operación [11].

La confiabilidad es el componente que trabaja continuamente durante un periodo de tiempo dado, en otras palabras, la función del componente no se interrumpe, el componente se pone en operación (arriba) y se mantiene arriba. Por otra parte, cuando hablamos de disponibilidad el componente es puesto arriba en un instante dado y no importa lo que pase después, la función del componente puede ser interrumpida sin ningún problema [3].

2.2.5.2. Disponibilidad

Es la habilidad que tiene una unidad funcional para realizar una función requerida bajo las condiciones dadas en un instante de tiempo o sobre un espacio de tiempo dado, asumiendo que los recursos externos requeridos son provistos [22].

Función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo que un equipo esté disponible para cumplir la función principal para la que fue destinada. Los factores que influyen sobre la disponibilidad son el tiempo medio para falla (MTBF) y el tiempo de reparación (MTTR), es posible para la gerencia evaluar las distintas alternativas de acción, para conseguir aumentar la disponibilidad de sus sistemas productivos [11].

2.2.5.3. Mantenibilidad

Se define como la probabilidad de que un equipo o sistema, después del fallo, sea reparado en un tiempo dado [11].

2.2.5.4. Tiempo promedio en fallos (MTBF)

Es el tiempo promedio que un equipo o alguno de sus componentes reparables (los no-reparables se miden por el Tiempo Promedio A Falla MTTR), máquina, línea o planta cumple con su función sin interrupción, debido a una falla funcional. Se calcula, dividiendo, el tiempo total de operación entre el número de paros o fallas funcionales [23]:

$$MTBF = \frac{\text{(Tiempo Total de Funcionamiento)}}{\text{(Número de Fallas Funcionales)}}$$

No se consideran fallas funcionales aquéllas que son ajenas a los equipos, como fallos de operación o de logística, falta de insumos, u otras que son exógenas a los equipos.

2.2.5.5. Tiempo promedio operativo (MTTF)

Se define como el indicador que mide el tiempo promedio que puede operar un equipo a su mayor capacidad sin interrupciones dentro del periodo considerado; este constituye un indicador indirecto de la confiabilidad del equipo o sistema. El tiempo promedio Operativo se calcula de la siguiente manera [24]:

$$MTTF = \frac{\sum \text{Tiempo total de operación de un conjunto de ítems no reparables}}{\text{Número total de fallas detectadas en esos ítems, en el periodo observado}}$$

2.2.5.6. Tiempo promedio para reparar (MTTR)

Se define como la medida de la distribución del tiempo de reparación de un equipo o un sistema. Este indicador mide la efectividad de restituir la unidad a condiciones óptimas de operación una vez que la unidad se encuentra fuera de servicio por una falla, dentro de un periodo de tiempo determinado. El tiempo promedio para reparar es un parámetro de medición asociado a la mantenibilidad el tiempo de reparación depende de la naturaleza de la falla y de las mencionadas características de diseño. El tiempo promedio para reparar se calcula de la siguiente manera [24]:

$$MTTR = \frac{\sum \text{Tiempo total de intervención correctiva en un conjunto de ítems con falla}}{\text{Número total de fallas detectadas en esos ítems, en el periodo observado}}$$

2.2.6. Disponibilidad

Se califica como indicador de productividad global del mantenimiento expresado en la unidad de tiempo, que tiene por objetivo determinar el porcentaje de tiempo total en el que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue creado, a través del estudio de factores, los cuales influyen sobre la disponibilidad, como el tiempo total de operación y el tiempo total de parada, y determinar información significativa del equipo o sistema que permita determinar la posibilidad de reparación, la frecuencia de fallas y analizar el mantenimiento que se lleva a cabo en el sistema o equipo para obtener aumentos de disponibilidad [25].

El factor de disponibilidad de un equipo o sistema es una medida que indica el tiempo está funcionando ese equipo o sistema operativo respecto de la duración total durante el periodo en el que se desea que funcione. Generalmente se expresa en porcentaje, no se lo debe confundir con la rapidez de respuesta [25].

La disponibilidad de un equipo solo puede aumentarse disminuyendo el tiempo fuera de servicio, lo cual es posible con la mejora de los sistemas administrativos, los procedimientos, la selección, el entrenamiento, la motivación del personal, la calidad y dotación de herramientas, el equipo de diagnóstico, los sistemas de información de equipos y la optimización de los sistemas de abastecimiento. Por lo tanto, se requiere de herramientas que permitan tomar decisiones rápidas y acertadas sobre sus principales recursos, que para las operaciones de movimiento de tierras involucre directamente a los equipos [26].

La disponibilidad es un término probabilístico exclusivo de los “equipos reparables” que se define como la probabilidad de que el equipo esté operando (es decir que no esté en reparación) a un tiempo “t”. Para estimar la disponibilidad se requiere estimar la “tasa de falla $\lambda(t)$ ” y la “tasa de reparación $\mu(t)$ ”; es decir, se requiere analizar estadísticamente los tiempos para la falla, y los tiempos en reparación. Para un periodo de tiempo “t” [26].

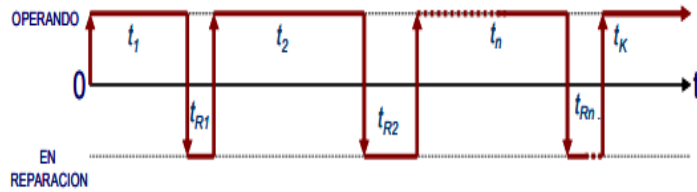


Fig. 2.13. Diagrama de tiempo de operación y fuera de servicio [26].

2.2.6.1. Disponibilidad inherente (%DI)

La Disponibilidad Inherente representa el porcentaje del tiempo que un equipo está en condiciones de operar durante un periodo de análisis, teniendo en cuenta solo los paros no programados. El objetivo de este indicador es medir la disponibilidad inherente de los equipos, con la finalidad de incrementarla, ya que en la medida que esto ocurra, significara que se disminuye el tiempo de los paros por falla o paros no programados del equipo [27]:

$$\text{Disponibilidad Inherente} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}} \quad \text{Ec. 2.14}$$

2.2.6.2. Disponibilidad operacional (%DO)

Representa el porcentaje de tiempo que el equipo quedo a disponibilidad del área de operación para desempeñar su función en un periodo de análisis. Teniendo en cuenta el tiempo que el equipo está fuera de operación por paros programados y no programados. El objetivo de este indicador es medir el desempeño de los equipos y la eficiencia en la gestión de mantenimiento, de manera conjunta, comparándolos contra los objetivos y metas del negocio, con la finalidad que Operación tenga cada vez más tiempo el equipo disponible y que este pueda realizar la función para la que fue diseñado [27].

$$\text{Disponibilidad Operacional} = \frac{\text{MTBM}}{\text{MTBM} + M'} = \frac{\frac{1}{\frac{1}{\text{MTBMc}} + \frac{1}{\text{MTBmp}}}}{\frac{1}{\frac{1}{\text{MTBMc}} + \frac{1}{\text{MTBmp}}} + \frac{\frac{\text{MTTR}}{\text{MTBMc}} + \frac{M_p}{\text{MTBmp}}}{\frac{1}{\text{MTBMc}} + \frac{1}{\text{MTBmp}}}} \quad \text{Ec. 2.15}$$

2.3. Fundamentación filosófica

La presente investigación está ubicada en el paradigma crítico – propositivo; crítico debido a que en la actualidad el problema que se estudia es un caso real existente, cabe recalcar que el proyecto analizará la Fiabilidad de máquinas y equipos por la ley de Weibull y propositiva porque se buscará como incide en la disponibilidad de los mismos.

2.4. Fundamentación legal

La ejecución de la presente investigación se basará en las siguientes normas técnicas.

NTP 331: Fiabilidad: la distribución de Weibull

NTP 679: Análisis modal de fallos AMFE

COVENIN 3049-93: Gestión del Mantenimiento

HANDBOOK WEIBULL

2.5 Categorías fundamentales

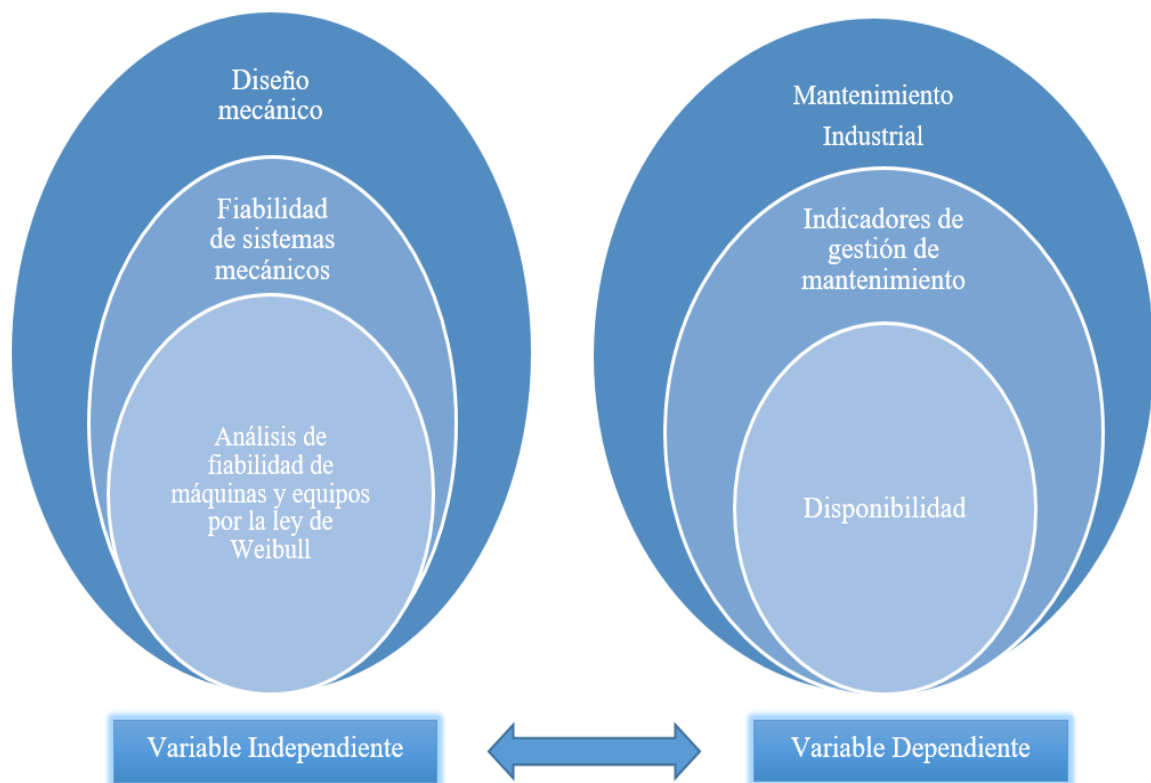


Fig. 2.14. Categorías fundamentales
Fuente: Autor

2.6 Hipótesis

El análisis de Fiabilidad de Máquinas y Equipos por la ley de Weibull en el área de extrusión empresa HOLVIPLAS S.A., incide en su disponibilidad

2.7 Señalamiento de variables

2.7.1 Variable independiente

El análisis de Fiabilidad de Máquinas y Equipos por la ley de Weibull en el área de extrusión

2.7.2 Variable dependiente

La disponibilidad

2.7.3 Término de relación

Incidencia

CAPÍTULO III

3.1 Enfoque

La presente investigación se realizó con un enfoque cualicunatitativo, cualitativo, porque se tomará la información documentada existente de la maquinaria, equipos como es el tiempo de operación, así como también cualidades físicas. Se tomó con un enfoque cuantitativo, ya que se asignará valores a criterios de evaluación para realizar los respectivos cálculos que ayuden a determinar el estado de la maquinaria. Por consecuencia se afirma que se trabajara con un enfoque mixto.

3.2 Modalidad básica de la investigación

Para realizar la investigación siguió las siguientes modalidades o procesos investigativos:

3.2.1 Investigación de campo

La siguiente investigación se apoyará en la modalidad de campo por ser necesario la recolección de información, conocer los componentes críticos de cada máquina, para su posterior análisis.

3.2.2 Investigación bibliográfica

Esta modalidad de investigación ya que ayudara a profundizar en el tema y brindar conocimientos científicos acerca de los diferentes parámetros que se deben tomar en cuenta para un buen análisis, así como también de los estudios realizados en algunos países extranjeros, a los cuales se tiene acceso con ayuda del internet, además de libros, revistas, tesis, catálogos y artículos especializados en este tema, además, se obtendrán las herramientas necesarias para la correcta elaboración de este proyecto.

3.2.3 Investigación experimental

Esto se realizará mediante un estudio y análisis de los datos obtenidos en la investigación, para poder evaluar los parámetros a considerarse en este trabajo y poder establecer un buen análisis fiabilidad de máquinas y equipos por la ley de Weibull en el área de extrusión de la empresa HOLVIPLAS S.A.

3.3 Nivel o tipo de investigación

3.3.1 Exploratorio

Mediante este tipo de investigación se podrá tener una percepción más amplia del problema ya que se recolectará información de los operadores, técnicos y registros de trabajo debido a la escasa información formal registrada de intervenciones y fallas de la maquinaria y equipos.

3.3.2 Descriptiva

En este nivel de investigación se describirá detalladamente los procesos y avances del estudio, los conocimientos adquiridos y todas las soluciones al problema planteado.

3.3.3 Correlacional

Tiene como propósito medir el grado de incidencia entre las variables que se van a estudiar en la investigación, esto es el análisis de fiabilidad de máquinas y equipos por la ley de Weibull en el área de extrusión de la empresa HOLVIPLAS S.A., como la variable independiente, y la disponibilidad que se presenta en los mismos como la variable dependiente.

3.4 Población y muestra

3.4.1 Población

Para realizar esta investigación de Análisis de fiabilidad de máquinas y equipos por la ley de Weibull en el área de extrusión de la empresa HOLVIPLAS S.A., y su incidencia en la disponibilidad, se considerará el inventario de la maquinaria y equipos con que cuenta la empresa HOLVIPLAS S.A., para efectos de cálculo se considerarán las máquinas y equipos del área de extrusión.

Tabla 3. 1. Distribución de Máquinas, Equipos de la Empresa HOLVIPLAS S.A.

| MÁQUINAS - EQUIPOS | CÓDIGO | MÁQUINAS – EQUIPOS | CÓDIGO |
|----------------------------|---------------|----------------------------------|---------------|
| EXTRUSORAS | | EXTRUSORAS | |
| LINEA 100 | | LINEA 800 | |
| EXTRUSORA AMUT BA 105 | H100 | EXTRUSORA AMUT BA 94 | H800 |
| TINA DE VACÍO OEM | H101 | TINA DE VACÓO | H801 |
| TINA DE EMFRIAMIENTO OEM | H102 | CATERPILAR ROYAL | H802 |
| CATERPILAR OEM | H103 | CORTADORA ROYAL | H803 |
| CORTADORA OEM | H104 | ACAMPANADOR | H804 |
| ACAMPANADORA OEM | H105 | LINEA JWELL | |
| LINEA 200 | | EXTRUSORA JWELL | H900 |
| EXTRUSORA AMUT BA 86 | H200 | CORRUGADOR JWELL | H901 |
| TINA DE VACIO AMUT | H201 | CORTADOR JWELL | H902 |
| CATERPILAR CORTADOR AMUT | H202 | ACAMPANADOR JWELL | H903 |
| ACAMPANADORA OEM 500 | H203 | BOMBAS DE VACÍO | H904 |
| LINEA 300 | | MEZCLADORES | |
| EXTRUSORA AMUT BA 67 | H300 | MEZCLADOR CACCIA | TM2 |
| TINA DE VACÍO AMUT | H301 | MEZCLADOR VALTORTA | TM3 |
| TINA DE EMFRIAMIENTO AMUT | H302 | MEZCLADOR PMAYER | TM4 |
| CATERPILAR CORTADOR AMUT | H303 | COMPRESORES | |
| ACAMPANADORA | H304 | COMPRESOR PISTON 40 HP | CH1 |
| LINEA 400 | | COMPRESOR TORNILLO SSR50 | CH2 |
| EXTRUSORA CINCINNATI | H400 | COMPRESOR TORNILLO SCR50 | CH3 |
| TINA DE EMFRIAMIENTO | H401 | INECTORAS | |
| CATERPILAR CINCINNATI | H402 | INECTORA PL1600 HAITIAN | INYH5 |
| CORTADORE CINCINNATI | H403 | INECTORA PL4500 HAITIAN | INYH4 |
| LINEA 500 | | INECTOR HTF 200 HAITIAN | INYH2 |
| EXTRUSORA EUROVITTI | H500 | INECTORA HTF 300 HAITIAN | INYH1 |
| TINA DE VACÍO FANGLI | H501 | INECTORA HTF 320 HAITIAN | INYH3 |
| CATERPILAR FANGLI | H502 | | |
| LINEA 600 | | TRITURADOR DE ACCESORIOS | MOL1 |
| EXTRUSORA MIOTTO | H600 | | |
| TINA DE VACIO MIOTTO | H601 | TECLE DE CADENA DE 2 TON HAITIAN | TCH1 |
| CATERPILAR CORTADOR MIOTTO | H602 | | |
| LINEA 700 | | MONTACARGAS MITSUBISHI | MCH2 |
| EXTRUSORA AMUT BA 92 | H700 | | |
| TINA DE VACIO CONAIR | H701 | TRANSPORTADOR HIDRÁULICO | THH1 |
| CATERPILAR ROYAL | H702 | | |
| CORTADORA ROYAL | H703 | IMPRESORA DE TUBERIA | IMT1 |
| ACAMPANADOR | H704 | | |

Fuente: Empresa HOLVIPLAS S.A.

Elaborado por: Autor

Tabla 3. 2. Maquinaria del área de extrusión de la empresa HOLVIPLAS S.A.

| MÁQUINA | CANTIDAD |
|-------------------------------|----------|
| Extrusora de PVC | 6 |
| Tina de vacío | 6 |
| Haladores De Oruga | 6 |
| Acampanadora para tubo de PVC | 6 |
| Cortadora de tubería de PVC | 6 |
| Impresora de Tubería | 3 |
| Transportador hidráulico | 2 |

Fuente: Área de extrusión de la Empresa HOLVIPLAS S.A.

Elaborado por: Autor

3.4.2 Muestra

Es indispensable determinar el tamaño adecuado de la muestra, para no desperdiciar recursos y obtener resultados confiables.

En este caso como ya se conoce el número total de máquinas con que se cuenta, se empleara la fórmula para muestra finita

Donde

n: Tamaño de la muestra

Z: Nivel de confiabilidad (95 – 99) %

P: Probabilidad de ocurrencia

Q: probabilidad de no ocurrencia

N: población total, 62 máquinas

e: Error de muestreo

Parámetros

- Se tomará un nivel de confianza del 95%
- Las probabilidades reales de que una ocurrencia tome lugar o no son iguales por lo que se presenta de la siguiente forma: $P+Q=1$ Por lo tanto $P=Q=0.5$
- El nivel de confianza Z, se obtiene dividiendo el rango de confiabilidad para 2 y de la forma siguiente: $0.95/2=0.475$ se obtiene $Z=1.96$
- Error de estimación máximo aceptado.

Cálculo

$$n = 10,66 \cong 11$$

3.5 Operacionalización de variables

3.5.1. Variable Independiente

Tabla 3. 3. Análisis de fiabilidad de máquinas y equipos por la ley de Weibull en el área de extrusión.

| CONCEPTUALIZACIÓN | CATEGORÍA | INDICADORES | ÍTEMS | TÉCNICAS E INSTRUMENTOS |
|---|-------------------------|--|--|---|
| <p>Fiabilidad es la probabilidad de que un dispositivo realice adecuadamente su función prevista a lo largo del tiempo que opera, Por tanto en el estudio de la fiabilidad de una máquina, el primer paso consiste en realizar un análisis de los modos de fallo AMFE.</p> <p>La distribución Weibull se utiliza frecuentemente en el desarrollo de modelos de fiabilidad</p> | Tiempo | ¿Cuál es el tiempo de operación reparación de la maquinaria? | $T_o > 0$ $T_r > 0$ | - Cuaderno de Notas |
| | Análisis de fallos AMFE | Frecuencia Ocurrencia Gravedad NPR | NPR > 125 | - Cuaderno de Notas -Análisis estadístico - NTP 679 |
| | Ley de weibull | Tasa de fallos (λ) Variable | $R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$ $\beta < 1$ $\beta = 1$ $\beta > 1$ | - Cuaderno de Notas -Análisis estadístico |

Fuente: Autor

3.5.2 Variable Dependiente

Tabla 3. 4. Disponibilidad.

| CONCEPTUALIZACIÓN | CATEGORÍA | INDICADORES | ÍTEMS | TÉCNICAS E INSTRUMENTOS |
|---|---|---|--|--|
| <p>La disponibilidad, objetivo principal del mantenimiento, puede ser definida como la confianza de que un componente o sistema que sufrió. Mantenimiento, ejerza su función satisfactoriamente para tiempo dado. Esta depende de cuán frecuente se producen los fallos en determinado tiempo y condiciones (confiabilidad) y de cuánto tiempo se requiere para corregir el fallo (mantenibilidad).</p> | <p>Disponibilidad</p> <ul style="list-style-type: none"> Confiabilidad Mantenibilidad | <p>Tiempo promedio entre fallas. (MTBF)</p> <p>Tiempo promedio para la reparación de la Maquinaria (MTTR)</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Horas de operación.(HROP) • Número de fallas detectadas. (N°FALLAS) • Tiempo total de fallas. (TTF) • Número de fallas detectadas. (N°FALLAS) | <ul style="list-style-type: none"> - Ordenes de trabajo - Reportes de la Maquinaria - Análisis estadístico - Software Especializado - Ordenes de trabajo - Reportes de la Maquinaria - Análisis estadístico - Software Especializado |

Fuente: Autor

3.6. Recolección de la información

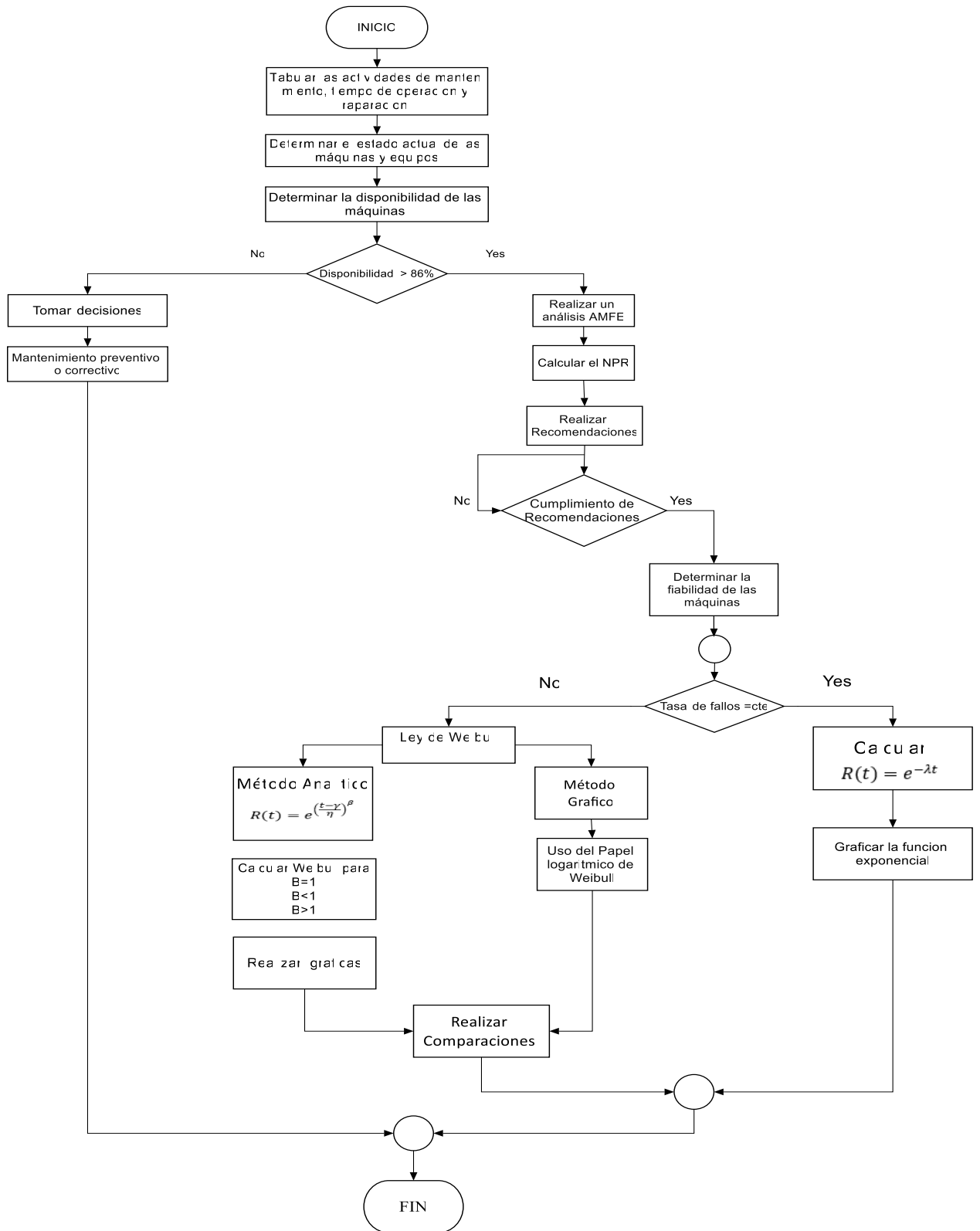


Fig. 3.1 Diagrama de Recolección de información.

Fuente: Autor

3.7. Procesamiento y análisis

3.7.1. Plan de procesamiento de la información recogida

Para el análisis de la información recolectada mediante registro histórico de fallas en el departamento de mantenimiento y producción se usarán el método estadístico inferencial utilizando Microsoft Excel donde se tabularan tiempos de operación, tiempo de reparación, tiempos muertos de igual forma fichas técnicas de máquinas y equipos, se determinara la disponibilidad y fiabilidad. Además se realizará el análisis de modo de fallo AMFE, de acuerdo a la necesidad y a la relación que tenga con las variables de la hipótesis se aplicará la ley de weibull, las actividades que se desarrollaran para el procesamiento de información se detallan en el diagrama de flujo en la Figura 3.2.

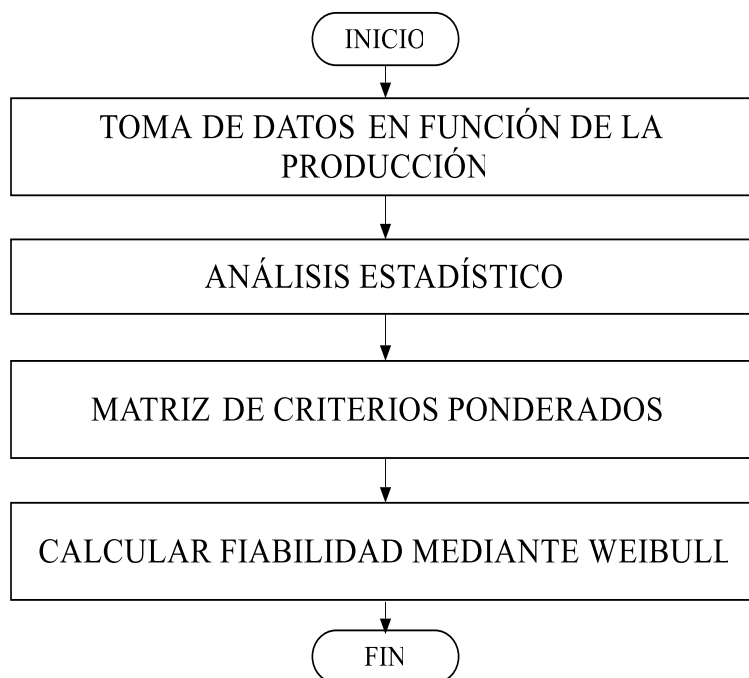


Fig. 3. 2. Diagrama Procesamiento y análisis de información

Fuente: Autor

3.7.2 Análisis e interpretación de resultados

A continuación se presenta de manera detallada, el procedimiento para analizar e interpretar los resultados del análisis del estado actual de la Maquinaria:

- 1) Tabulación de los datos obtenidos durante el análisis de acuerdo a la necesidad y a la relación que tengan con las variables de la hipótesis, se elaborarán Tablas en las que se indique:
 - Información técnica de la Maquinaria
 - Actividades de mantenimiento
 - Tiempos de operación
 - Tiempos de reparación
 - Tiempos muertos
 - Disponibilidad
 - Tasa de fallos
 - Tasa de reparación
 - Fiabilidad
- 2) Representación Figura de los análisis de la fiabilidad con el uso de la función exponencial, weibull gráfico y analítico.
 - Graficas del tiempo de operación vs fiabilidad función exponencial
 - Papel weibull tiempo de operación vs rango medio
 - Graficas del tiempo de operación vs fiabilidad ley de weibull
- 3) Analizar y relacionar los resultados obtenidos en las diferentes partes de la investigación para determinar la incidencia que tiene la fiabilidad aplicando la ley de weibull en la disponibilidad de las máquinas y equipos del área de extrusión.

CAPÍTULO IV

4.1 Análisis de resultados

Para el presente trabajo de “ANÁLISIS DE FIABILIDAD DE MÁQUINAS Y EQUIPOS POR LA LEY DE WEIBULL EN EL ÁREA DE EXTRUSIÓN DE LA EMPRESA HOLVIPLAS S.A. Y SU INCIDENCIA EN LA DISPONIBILIDAD”, se requiere el seguimiento de varias actividades las cuales se detallan en el diagrama de flujo indicado en la Figura 4.1.

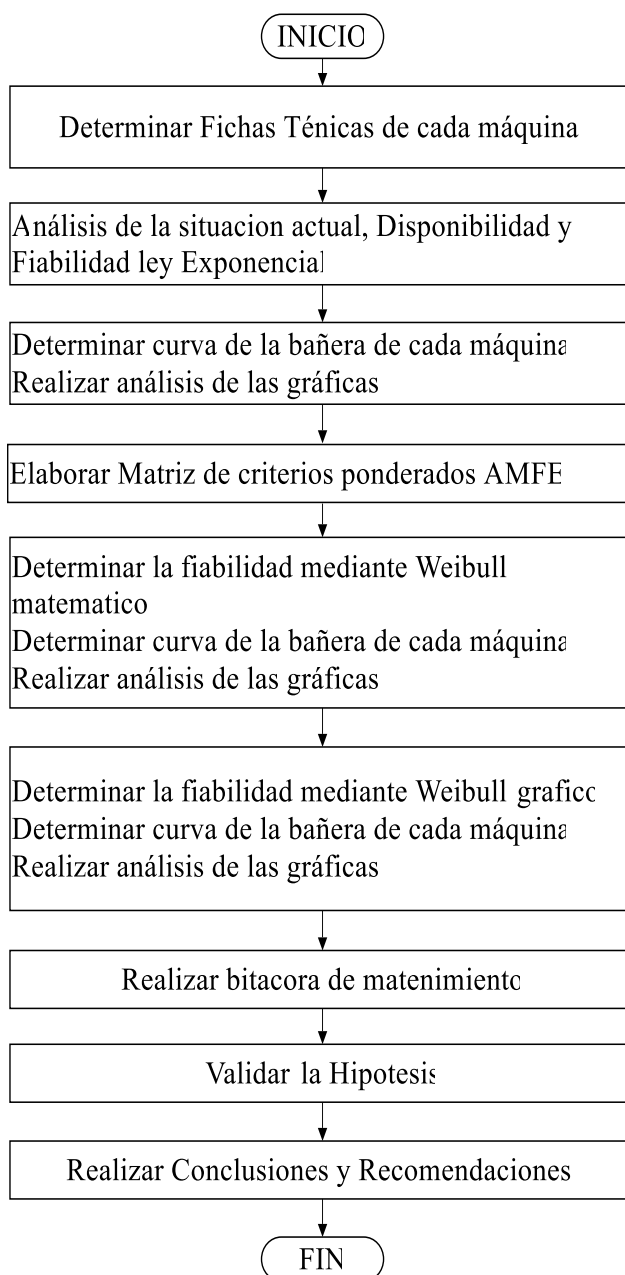


Fig. 4. 1. Diagrama de las actividades desarrolladas para hacer el estudio
Fuente: Autor

4.2 Ficha técnica de las máquinas y equipos en el área de extrusión de la empresa Holviplas S.A.

4.2.1 Conocimiento general acerca de las máquinas y equipos en el área de extrusión de la empresa Holviplas S.A.

Las Máquinas y Equipos están definidas por la labor diaria en la empresa, en proceso de fabricación de tubería de PVC es una labor que requiere de varias máquinas para obtener un producto de calidad.

Como primer paso para realizar el estudio se necesita conocer con exactitud las características generales y los componentes de cada máquina y equipo. A continuación, se presenta fichas técnicas sobre el conocimiento general de cada máquina:

Tabla 4. 1. Ficha técnica Extrusora AMUT 94 – Línea 800

| FICHA TÉCNICA DE MAQUINARIA | | | | |
|--|---|--|--|---------------------------|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | |  | |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | HOLVIPLAS S.A ÁREA DE EXTRUSIÓN | | | |
| MÁQUINA | EXTRUSORA | CÓDIGO | H800 | |
| ESTADO ACTUAL | EN FUNCIONAMIENTO | TIEMPO DE OPERACIÓN | 24 h | |
| MARCA | AMUT | MODELO | BA92 | |
| FABRICANTE | AMUT | SERIE | S/N | |
| AÑO FABRICACIÓN | 2005 | ÁREA DE TRABAJO | EXTRUSIÓN | |
|  | CARACTERÍSTICAS GENERALES | | | |
| | FRECUENCIA | 60 Hz | VOLTAJE | 220 V |
| | PROCEDENCIA | CHINA | POTENCIA | 37 Kw |
| | AMPERAJE | 120 Amp | CAPACIDAD | (200/350)kg/h Øi 3"-6" |
| | CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS | | | |
| | DIMENSIONES | largo x alto x ancho...(3,8 x 1,3 x 1,6) m | | |
| | PESO | 5000 Kg | | |
| LUBRICANTE | ISO 320 | | | |
| FUNCIÓN: Transportar, prensar, moldear, compactar, fusionar y dar forma al polímero en caliente o frío por compresión, forzando su paso a través de una boquilla construida específicamente para darle la forma final | | | | |

Fuente: Autor

Tabla 4. 2. Ficha técnica Tina de vacío – Línea 800

| FICHA TÉCNICA DE MAQUINARIA | | | | |
|---|---|--|---|----------|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | |  | |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | HOLVIPLAS S.A ÁREA DE EXTRUSIÓN | | | |
| MÁQUINA | TINA VACÍO | CÓDIGO | H801 | |
| ESTADO ACTUAL | EN FUNCIONAMIENTO | TIEMPO DE OPERACIÓN | 24 h | |
| MARCA | CONAIR | MODELO | S/N | |
| FABRICANTE | CONAIR | SERIE | GATTO | |
| AÑO FABRICACIÓN | 2010 | ÁREA DE TRABAJO | EXTRUSIÓN | |
|  | CARACTERÍSTICAS GENERALES | | | |
| | FRECUENCIA | 60Hz | VOLTAJE | 220 V |
| | PROCEDENCIA | CHINA | POTENCIA | 10 HP |
| | AMPERAJE | 24 Amp | CAPACIDAD | Øi 3"-6" |
| | CARACTERÍSTICAS ESPECIFICAS | | | |
| | DIMENSIONES | largo x alto x ancho....(10 x 1,3 x 0,6) m | | |
| | PESO | 700 Kg | | |
| | REFRIGERANTE | ISO 220 | | |
| FUNCIÓN: Enfriar el material para que no pierda su forma | | | | |

Fuente: Autor

Tabla 4. 3. Ficha técnica Halador – Línea 800

| FICHA TÉCNICA DE MAQUINARIA | | | | |
|---|---|--|---|----------|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | |  | |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | HOLVIPLAS S.A ÁREA DE EXTRUSIÓN | | | |
| MÁQUINA | HALADOR | CÓDIGO | H802 | |
| ESTADO ACTUAL | EN FUNCIONAMIENTO | TIEMPO DE OPERACIÓN | 24 h | |
| MARCA | ROYAL/AMUT | MODELO | 56 | |
| FABRICANTE | AMUT | SERIE | 8538 | |
| AÑO FABRICACIÓN | 1992 | ÁREA DE TRABAJO | EXTRUSIÓN | |
|  | CARACTERÍSTICAS GENERALES | | | |
| | FRECUENCIA | 60Hz | VOLTAJE | 220 V |
| | PROCEDENCIA | CHINA | POTENCIA | 5 HP |
| | AMPERAJE | 8,3 Amp | CAPACIDAD | Øi 3"-6" |
| | CARACTERÍSTICAS ESPECIFICAS | | | |
| | DIMENSIONES | largo x alto x ancho.... (1,9 x 1,7 x 1) m | | |
| | PESO | 8500 Kg | | |
| | REFRIGERANTE | ISO 220 | | |
| FUNCIÓN: Dirigir el material hacia el cortador | | | | |

Fuente: Autor

Tabla 4. 4. Ficha técnica Cortador – Línea 800

| FICHA TÉCNICA DE MAQUINARIA | | | | |
|---|---|--|---|----------|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | |  | |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | HOLVIPLAS S.A ÁREA DE EXTRUSIÓN | | | |
| MÁQUINA | CORTADOR | CÓDIGO | H803 | |
| ESTADO ACTUAL | EN FUNCIONAMIENTO | TIEMPO DE OPERACIÓN | 24 h | |
| MARCA | AMUT | MODELO | S/N | |
| FABRICANTE | AMUT | SERIE | S/N | |
| AÑO FABRICACIÓN | 1992 | ÁREA DE TRABAJO | EXTRUSIÓN | |
|  | CARACTERÍSTICAS GENERALES | | | |
| | FRECUENCIA | 60Hz | VOLTAJE | 220 V |
| | PROCEDENCIA | CHINA | POTENCIA | 3 HP |
| | AMPERAJE | 5,6 Amp | CAPACIDAD | Øi 3"-6" |
| | CARACTERÍSTICAS ESPECIFICAS | | | |
| | DIMENSIONES | largo x alto x ancho...(1,4 x 1,7 x 0,9) m | | |
| | PESO | 3200 Kg | | |
| | REFRIGERANTE | ISO 220 | | |
| | FUNCIÓN: Realizar el corte de la tubería en las dimensiones específicas. | | | |

Fuente: Autor

Tabla 4. 5. Ficha técnica Acampanador – Línea 800

| FICHA TÉCNICA DE MAQUINARIA | | | | |
|---|---|---|---|----------|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | |  | |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | HOLVIPLAS S.A ÁREA DE EXTRUSIÓN | | | |
| MÁQUINA | ACAMPANADOR | CÓDIGO | H804 | |
| ESTADO ACTUAL | EN FUNCIONAMIENTO | TIEMPO DE OPERACIÓN | 24 h | |
| MARCA | S/N | MODELO | S/N | |
| FABRICANTE | S/N | SERIE | S/N | |
| AÑO FABRICACIÓN | 1996 | ÁREA DE TRABAJO | EXTRUSIÓN | |
|  | CARACTERÍSTICAS GENERALES | | | |
| | FRECUENCIA | 60Hz | VOLTAJE | 220 V |
| | PROCEDENCIA | CHINA | POTENCIA | 1 HP |
| | AMPERAJE | 3.2 Amp | CAPACIDAD | Øi 3"-6" |
| | CARACTERÍSTICAS ESPECIFICAS | | | |
| | DIMENSIONES | largo x alto x ancho...(6,6 x 1,7 x 1,6) m | | |
| | PESO | 4000kg | | |
| | REFRIGERANTE | Aceite 220 | | |
| | FUNCIÓN: Formar una campana a la terminación del tubo. | | | |

Fuente: Autor

Tabla 4. 6. Ficha técnica Extrusora 92 – Línea 700

| FICHA TÉCNICA DE MAQUINARIA | | | | |
|---|--|---|---|---------------------------|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | |  | |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | HOLVIPLAS S.A ÁREA DE EXTRUSIÓN | | | |
| MÁQUINA | EXTRUSORA | CÓDIGO | H700 | |
| ESTADO ACTUAL | EN FUNCIONAMIENTO | TIEMPO DE OPERACIÓN | 24 h | |
| MARCA | DAVIS STANDARD COMP | MODELO | S/N | |
| FABRICANTE | DAVIS STANDARD COMP | SERIE | 75MM25 | |
| AÑO FABRICACIÓN | 2007 | ÁREA DE TRABAJO | EXTRUSIÓN | |
|  | CARACTERÍSTICAS GENERALES | | | |
| | FRECUENCIA | 60 Hz | VOLTAJE | 220 V |
| | PROCEDENCIA | CHINA | POTENCIA | 55 Kw |
| | AMPERAJE | 73 Amp | CAPACIDAD | 60 kg/h Øi 1/2"-2-1/2" |
| | CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS | | | |
| | DIMENSIONES | largo x alto x ancho... (3,8 x 1,3 x 1,6) m | | |
| | PESO | 2800 Kg | | |
| | REFRIGERANTE | ISO 320 | | |
| | FUNCIÓN: Transportar, prensar, moldear, compactar, fusionar y dar forma al polímero en caliente o frío por compresión, forzando su paso a través de una boquilla construida específicamente para darle la forma final | | | |

Fuente: Autor

Tabla 4. 7. Ficha técnica Tina de vacío – Línea 700

| FICHA TÉCNICA DE MAQUINARIA | | | | |
|---|---|---|---|---------------|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | |  | |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | HOLVIPLAS S.A ÁREA DE EXTRUSIÓN | | | |
| MÁQUINA | TINA VACÍO | CÓDIGO | H701 | |
| ESTADO ACTUAL | EN FUNCIONAMIENTO | TIEMPO DE OPERACIÓN | 24 h | |
| MARCA | HOLVIPLAS | MODELO | NOR2 | |
| FABRICANTE | HOLVIPLAS | SERIE | H002 | |
| AÑO FABRICACIÓN | 2015 | ÁREA DE TRABAJO | EXTRUSIÓN | |
|  | CARACTERÍSTICAS GENERALES | | | |
| | FRECUENCIA | 60Hz | VOLTAJE | 220 V |
| | PROCEDENCIA | CHINA | POTENCIA | 10 HP |
| | AMPERAJE | 11 Amp | CAPACIDAD | Øi 1/2"-21/2" |
| | CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS | | | |
| | DIMENSIONES | largo x alto x ancho... (4,3 x 1,7 x 0,8) m | | |
| | PESO | 4200 Kg | | |
| | REFRIGERANTE | ISO 220 | | |
| | FUNCIÓN: Enfriar el material para que no pierda su forma | | | |

Fuente: Autor

Tabla 4. 8. Ficha técnica Halador – Línea 700

| FICHA TÉCNICA DE MAQUINARIA | | | | |
|---|---|--|---|---------------|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | |  | |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | HOLVIPLAS S.A ÁREA DE EXTRUSIÓN | | | |
| MÁQUINA | HALADOR | CÓDIGO | H702 | |
| ESTADO ACTUAL | EN FUNCIONAMIENTO | TIEMPO DE OPERACIÓN | 24 h | |
| MARCA | AMUT | MODELO | S/N | |
| FABRICANTE | AMUT | SERIE | S/N | |
| AÑO FABRICACIÓN | 1992 | ÁREA DE TRABAJO | EXTRUSIÓN | |
|  | CARACTERÍSTICAS GENERALES | | | |
| | FRECUENCIA | 60Hz | VOLTAJE | 220 V |
| | PROCEDENCIA | CHINA | POTENCIA | 5 HP |
| | AMPERAJE | 2,7-4,7 Amp | CAPACIDAD | Øi 1/2"-21/2" |
| | CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS | | | |
| | DIMENSIONES | largo x alto x ancho... (2,8 x 1,85 x 1) m | | |
| | PESO | 8500 Kg | | |
| REFRIGERANTE | ISO 90 | | | |
| FUNCIÓN: Dirigir el material hacia el cortador | | | | |

Fuente: Autor

Tabla 4. 9. Ficha técnica Cortador – Línea 700.

| FICHA TÉCNICA DE MAQUINARIA | | | | |
|---|---|---|---|---------------|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | |  | |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | HOLVIPLAS S.A ÁREA DE EXTRUSIÓN | | | |
| MÁQUINA | CORTADOR | CÓDIGO | H703 | |
| ESTADO ACTUAL | EN FUNCIONAMIENTO | TIEMPO DE OPERACIÓN | 24 h | |
| MARCA | CINCINNATI | MODELO | S/N | |
| FABRICANTE | CINCINNATI | SERIE | S/N | |
| AÑO FABRICACIÓN | 1996 | ÁREA DE TRABAJO | EXTRUSIÓN | |
|  | CARACTERÍSTICAS GENERALES | | | |
| | FRECUENCIA | 60Hz | VOLTAJE | 220 V |
| | PROCEDENCIA | CANADA | POTENCIA | 2 HP |
| | AMPERAJE | 3,5 Amp | CAPACIDAD | Øi 1/2"-21/2" |
| | CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS | | | |
| | DIMENSIONES | largo x alto x ancho... (1,4 x 1,7 x 0,9) m | | |
| | PESO | 3200 Kg | | |
| FUNCIÓN: Realizar el corte de la tubería en las dimensiones específicas. | | | | |

Fuente: Autor

Tabla 4. 10. Ficha técnica Acampanador – Línea 700

| FICHA TÉCNICA DE MAQUINARIA | | | | |
|---|---|---|---|---------------|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | |  | |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | HOLVIPLAS S.A ÁREA DE EXTRUSIÓN | | | |
| MÁQUINA | ACAMPANADOR | CÓDIGO | H704 | |
| ESTADO ACTUAL | EN FUNCIONAMIENTO | TIEMPO DE OPERACIÓN | 24 h | |
| MARCA | S/N | MODELO | S/N | |
| FABRICANTE | S/N | SERIE | S/N | |
| AÑO FABRICACIÓN | 1992 | ÁREA DE TRABAJO | EXTRUSIÓN | |
|  | CARACTERÍSTICAS GENERALES | | | |
| | FRECUENCIA | 60Hz | VOLTAJE | 220 V |
| | PROCEDENCIA | CHINA | POTENCIA | 25 HP |
| | AMPERAJE | 2,1 Amp | CAPACIDAD | Øi 1/2"-21/2" |
| | CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS | | | |
| | DIMENSIONES | largo x alto x ancho... (7,2 x 1,6 x 1,7) m | | |
| | PESO | 4000 Kg | | |
| REFRIGERANTE | ISO 220 | | | |
| FUNCIÓN: Formar una campana a la terminación del tubo. | | | | |

Fuente: Autor

Tabla 4. 11. Ficha técnica Extrusora AMUT 105 – Línea 100

| FICHA TÉCNICA DE MAQUINARIA | | | | |
|--|---|---|---|------------------------------|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | |  | |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | HOLVIPLAS S.A ÁREA DE EXTRUSIÓN | | | |
| MÁQUINA | EXTRUSORA | CÓDIGO | H100 | |
| ESTADO ACTUAL | EN FUNCIONAMIENTO | TIEMPO DE OPERACIÓN | 24 h | |
| MARCA | AMUT | MODELO | EABA105-2-105-3 | |
| FABRICANTE | AMUT | SERIE | V2107-04 | |
| AÑO FABRICACIÓN | 2005 | ÁREA DE TRABAJO | EXTRUSIÓN | |
|  | CARACTERÍSTICAS GENERALES | | | |
| | FRECUENCIA | 60Hz | VOLTAJE | 220 V |
| | PROCEDENCIA | CHINA | POTENCIA | 314 Kw |
| | AMPERAJE | 120 Amp | CAPACIDAD | (250-400) kg/h Øi 3" - 6" |
| | CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS | | | |
| | DIMENSIONES | largo x alto x ancho... (5,7 x 1,4 x 1,9) m | | |
| | PESO | 6500 Kg | | |
| REFRIGERANTE | ISO 320 | | | |
| FUNCIÓN: Transportar, prensar, moldear, compactar, fusionar y dar forma al polímero en caliente o frío por compresión, forzando su paso a través de una boquilla construida específicamente para darle la forma final | | | | |

Fuente: Autor

Tabla 4. 12. Ficha técnica Tina de vacío – Línea 100

| FICHA TÉCNICA DE MAQUINARIA | | | | |
|---|---|--|---|------------|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | |  | |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | HOLVIPLAS S.A ÁREA DE EXTRUSIÓN | | | |
| MÁQUINA | TINA VACÍO | CÓDIGO | H101 | |
| ESTADO ACTUAL | EN FUNCIONAMIENTO | TIEMPO DE OPERACIÓN | 24 h | |
| MARCA | OEM | MODELO | VST 18/20 | |
| FABRICANTE | OEM | SERIE | OEM 1002030 | |
| AÑO FABRICACIÓN | 2005 | ÁREA DE TRABAJO | EXTRUSIÓN | |
|  | CARACTERÍSTICAS GENERALES | | | |
| | FRECUENCIA | 60Hz | VOLTAJE | 220 V |
| | PROCEDENCIA | CHINA | POTENCIA | 10 HP |
| | AMPERAJE | 24 Amp | CAPACIDAD | Øi 3" - 6" |
| | CARACTERÍSTICAS ESPECIFICAS | | | |
| | DIMENSIONES | largo x alto x ancho... (12 x 6,5 x 1,4) m | | |
| | PESO | 5500 Kg | | |
| | REFRIGERANTE | ISO 220 | | |
| | FUNCIÓN: Enfriar el material para que no pierda su forma | | | |

Fuente: Autor

Tabla 4. 13. Ficha técnica Halador – Línea 100

| FICHA TÉCNICA DE MAQUINARIA | | | | |
|---|---|---|---|------------|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | |  | |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | HOLVIPLAS S.A ÁREA DE EXTRUSIÓN | | | |
| MÁQUINA | HALADOR | CÓDIGO | H102 | |
| ESTADO ACTUAL | EN FUNCIONAMIENTO | TIEMPO DE OPERACIÓN | 24 h | |
| MARCA | OEM INC | MODELO | PV4/18 | |
| FABRICANTE | OEM INC | SERIE | 360-2033 | |
| AÑO FABRICACIÓN | 1994 | ÁREA DE TRABAJO | EXTRUSIÓN | |
|  | CARACTERÍSTICAS GENERALES | | | |
| | FRECUENCIA | 60Hz | VOLTAJE | 220 V |
| | PROCEDENCIA | CHINA | POTENCIA | 5 HP |
| | AMPERAJE | 8.3 Amp | CAPACIDAD | Øi 3" - 6" |
| | CARACTERÍSTICAS ESPECIFICAS | | | |
| | DIMENSIONES | largo x alto x ancho... (2,2 x 1,9 x 1,8) m | | |
| | PESO | 5000 Kg | | |
| | REFRIGERANTE | ISO 320 | | |
| | FUNCIÓN: Dirigir el material hacia el cortador | | | |

Fuente: Autor

Tabla 4. 14. Ficha técnica Cortador – Línea 100

| FICHA TÉCNICA DE MAQUINARIA | | | | |
|---|---|--|---|------------|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | |  | |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | HOLVIPLAS S.A ÁREA DE EXTRUSIÓN | | | |
| MÁQUINA | CORTADOR | CÓDIGO | H103 | |
| ESTADO ACTUAL | EN FUNCIONAMIENTO | TIEMPO DE OPERACIÓN | 24 h | |
| MARCA | OEM INC | MODELO | RCS-18/60 | |
| FABRICANTE | OEM INC | SERIE | OEM 200-2034 | |
| AÑO FABRICACIÓN | 1995 | ÁREA DE TRABAJO | EXTRUSIÓN | |
|  | CARACTERÍSTICAS GENERALES | | | |
| | FRECUENCIA | 60Hz | VOLTAJE | 220 V |
| | PROCEDENCIA | CHINA | POTENCIA | 5 HP |
| | AMPERAJE | 4,4 Amp | CAPACIDAD | Øi 3" - 6" |
| | CARACTERÍSTICAS ESPECIFICAS | | | |
| | DIMENSIONES | largo x alto x ancho.... (2,75 x 2 x 1,95) m | | |
| | PESO | 4000 Kg | | |
| REFRIGERANTE | ISO 32 | | | |
| FUNCIÓN: Realizar el corte de la tubería en las dimensiones específicas. | | | | |

Fuente: Autor

Tabla 4. 15. Ficha técnica Acampanador – Línea 100

| FICHA TÉCNICA DE MAQUINARIA | | | | |
|---|---|---|---|------------|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | |  | |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | HOLVIPLAS S.A ÁREA DE EXTRUSIÓN | | | |
| MÁQUINA | ACAMPANADOR | CÓDIGO | H104 | |
| ESTADO ACTUAL | EN FUNCIONAMIENTO | TIEMPO DE OPERACIÓN | 24 h | |
| MARCA | OEM INC | MODELO | SGB 1620 | |
| FABRICANTE | OEM INC | SERIE | OEM 532-2249 | |
| AÑO FABRICACIÓN | 1996 | ÁREA DE TRABAJO | EXTRUSIÓN | |
|  | CARACTERÍSTICAS GENERALES | | | |
| | FRECUENCIA | 60Hz | VOLTAJE | 460 V |
| | PROCEDENCIA | CHINA | POTENCIA | 25 HP |
| | AMPERAJE | 7 Amp | CAPACIDAD | Øi 3" - 6" |
| | CARACTERÍSTICAS ESPECIFICAS | | | |
| | DIMENSIONES | largo x alto x ancho..... (7,5 x 1,6 x 1,7) m | | |
| | PESO | 4500 Kg | | |
| REFRIGERANTE | ISO 32 | | | |
| FUNCIÓN: Formar una campana a la terminación del tubo. | | | | |

Fuente: Autor

Tabla 4. 16. Ficha técnica Extrusora AMUT 86 – Línea 200

| FICHA TÉCNICA DE MAQUINARIA | | | | |
|---|--|--|---|---------------------------------|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | |  | |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | HOLVIPLAS S.A ÁREA DE EXTRUSIÓN | | | |
| MÁQUINA | EXTRUSORA | CÓDIGO | H200 | |
| ESTADO ACTUAL | EN FUNCIONAMIENTO | TIEMPO DE OPERACIÓN | 24 h | |
| MARCA | AMUT | MODELO | ba86 | |
| FABRICANTE | AMUT | SERIE | 88/7733 | |
| AÑO FABRICACIÓN | 1986 | ÁREA DE TRABAJO | EXTRUSIÓN | |
|  | CARACTERÍSTICAS GENERALES | | | |
| | FRECUENCIA | 60 Hz | VOLTAJE | 220 V |
| | PROCEDENCIA | CHINA | POTENCIA | 314 KW |
| | AMPERAJE | 7 Amp | CAPACIDAD | (200-325) kg/h Øi 1/2"-11/2" |
| | CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS | | | |
| | DIMENSIONES | largo x alto x ancho.... (3,4 x 1,5 x 1,3) m | | |
| | PESO | 4700 Kg | | |
| | REFRIGERANTE | ISO 230 | | |
| | FUNCIÓN: Transportar, prensar, moldear, compactar, fusionar y dar forma al polímero en caliente o frío por compresión, forzando su paso a través de una boquilla construida específicamente para darle la forma final | | | |

Fuente: Autor

Tabla 4. 17. Ficha técnica Tina de vacío – Línea 200

| FICHA TÉCNICA DE MAQUINARIA | | | | |
|---|---|--|---|---------------|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | |  | |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | HOLVIPLAS S.A ÁREA DE EXTRUSIÓN | | | |
| MÁQUINA | TINA VACÍO | CÓDIGO | H201 | |
| ESTADO ACTUAL | EN FUNCIONAMIENTO | TIEMPO DE OPERACIÓN | 24 h | |
| MARCA | AMUT | MODELO | TUSCA 16V | |
| FABRICANTE | AMUT | SERIE | V2107AP | |
| AÑO FABRICACIÓN | 2007 | ÁREA DE TRABAJO | EXTRUSIÓN | |
|  | CARACTERÍSTICAS GENERALES | | | |
| | FRECUENCIA | 60Hz | VOLTAJE | 220 V |
| | PROCEDENCIA | CHINA | POTENCIA | 10 HP |
| | AMPERAJE | 24 Amp | CAPACIDAD | Øi 1/2"-11/2" |
| | CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS | | | |
| | DIMENSIONES | largo x alto x ancho.... (7 x 1 x 0,8) m | | |
| | PESO | 700 Kg | | |
| | REFRIGERANTE | ISO 220 | | |
| | FUNCÓN: Enfriar el material para que no pierda su forma | | | |

Fuente: Autor

Tabla 4. 18. Ficha técnica Halador – Línea 200

| FICHA TÉCNICA DE MAQUINARIA | | | | |
|---|---|---|---|---------------|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | |  | |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | HOLVIPLAS S.A ÁREA DE EXTRUSIÓN | | | |
| MÁQUINA | HALADOR | CÓDIGO | H202 | |
| ESTADO ACTUAL | EN FUNCIONAMIENTO | TIEMPO DE OPERACIÓN | 24 h | |
| MARCA | AMUT | MODELO | RITEU | |
| FABRICANTE | AMUT | SERIE | 92/8529 | |
| AÑO FABRICACIÓN | 1992 | ÁREA DE TRABAJO | EXTRUSIÓN | |
|  | CARACTERÍSTICAS GENERALES | | | |
| | FRECUENCIA | 60 Hz | VOLTAJE | 220 V |
| | PROCEDENCIA | CHINA | POTENCIA | 3 HP |
| | AMPERAJE | 2.7-4.7 Amp | CAPACIDAD | Øi 1/2"-11/2" |
| | CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS | | | |
| | DIMENSIONES | largo x alto x ancho.... (1,5 x 1,7 x 0,8) m | | |
| | PESO | 8200 Kg | | |
| | REFRIGERANTE | ISO 32 | | |
| FUNCIÓN: Dirigir el material hacia el cortador | | | | |

Fuente: Autor

Tabla 4. 19. Ficha técnica Cortador – Línea 200

| FICHA TÉCNICA DE MAQUINARIA | | | | |
|---|---|--|---|---------------|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | |  | |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | HOLVIPLAS S.A ÁREA DE EXTRUSIÓN | | | |
| MÁQUINA | CORTADOR | CÓDIGO | H203 | |
| ESTADO ACTUAL | EN FUNCIONAMIENTO | TIEMPO DE OPERACIÓN | 24 h | |
| MARCA | AMUT | MODELO | RITEU | |
| FABRICANTE | AMUT | SERIE | 92/8529 | |
| AÑO FABRICACIÓN | 1992 | ÁREA DE TRABAJO | EXTRUSIÓN | |
|  | CARACTERÍSTICAS GENERALES | | | |
| | FRECUENCIA | 60Hz | VOLTAJE | 220 V |
| | PROCEDENCIA | CHINA | POTENCIA | 2 HP |
| | AMPERAJE | 3.5 Amp | CAPACIDAD | Øi 1/2"-11/2" |
| | CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS | | | |
| | DIMENSIONES | largo x alto x ancho.... (1,4 x 1,7 x 0,9) m | | |
| | PESO | 3200 Kg | | |
| | REFRIGERANTE | ISO 32 | | |
| FUNCIÓN: Realizar el corte de la tubería en las dimensiones específicas. | | | | |

Fuente: Autor

Tabla 4. 20. Ficha técnica Acampanador – Línea 200

| FICHA TÉCNICA DE MAQUINARIA | | | | |
|---|---|--|---|---------------|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | |  | |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | HOLVIPLAS S.A ÁREA DE EXTRUSIÓN | | | |
| MÁQUINA | ACAMPANADOR | CÓDIGO | H204 | |
| ESTADO ACTUAL | EN FUNCIONAMIENTO | TIEMPO DE OPERACIÓN | 24 h | |
| MARCA | OEM INC | MODELO | SGB 6/20 | |
| FABRICANTE | OEM INC | SERIE | OEM 500-1573 | |
| AÑO FABRICACIÓN | 1995 | ÁREA DE TRABAJO | EXTRUSIÓN | |
|  | CARACTERÍSTICAS GENERALES | | | |
| | FRECUENCIA | 60Hz | VOLTAJE | 220 V |
| | PROCEDENCIA | CHINA | POTENCIA | 5 HP |
| | AMPERAJE | 7 Amp | CAPACIDAD | Øi 1/2"-11/2" |
| | CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS | | | |
| | DIMENSIONES | largo x alto x ancho..... (6,6 x 1,6 x 1,65) m | | |
| | PESO | 4000 Kg | | |
| | REFRIGERANTE | ISO 220 | | |
| | FUNCIÓN: Formar una campana a la terminación del tubo. | | | |

Fuente: Autor

Tabla 4. 21. Ficha técnica Transporte Hidráulico

| FICHA TÉCNICA DE EQUIPO | | | | |
|--|---|---|---|-------|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | |  | |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | HOLVIPLAS S.A ÁREA DE EXTRUSIÓN | | | |
| EQUIPO | TRANSPORTADOR HIDRÁULICO | CÓDIGO | THH1 | |
| ESTADO ACTUAL | EN FUNCIONAMIENTO | TIEMPO DE OPERACIÓN | 8 Horas | |
| MARCA | Caterpillar | MODELO | A400002748 | |
| FABRICANTE | EEUU | SERIE | 2748 | |
| AÑO FABRICACIÓN | 2012 | ÁREA DE TRABAJO | EXTRUSIÓN | |
|  | CARACTERÍSTICAS GENERALES | | | |
| | CAPACIDAD | 3000 Kg | ESPESOR | 6 mm |
| | ALTURA DE HORQUILLA | 70 mm | ALTURA DE CARGA | 200mm |
| | CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS | | | |
| | DIMENSIONES | largo x ancho x alto manubrio... (3,8 x 1,3 x 1,6) m | | |
| | PESO | 75 Kg | | |
| | COMPONENTES | | | |
| | Bomba hidráulica | Ruedas de nylon | | |
| | Rodamiento de bolas 6205 | Graseros | | |
| | Seguros de rodamientos | Estructura Metálica | | |
| Pernos de seguridad | | | | |
| FUNCIÓN: Multiplicar una pequeña fuerza para realizar una gran fuerza en un objeto. | | | | |

Fuente: Autor

Tabla 4. 22. Ficha técnica Impresora de Tubería.

| FICHA TÉCNICA DE MAQUINARIA | | | |
|---|---|---------------------|---|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | |  |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | |
| | HOLVIPLAS S.A ÁREA DE EXTRUSIÓN | | |
| MÁQUINA | IMPRESORA | CÓDIGO | IMT1 |
| ESTADO ACTUAL | EN FUNCIONAMIENTO | TIEMPO DE OPERACIÓN | 24 Horas |
| MARCA | DOMINO | MODELO | A200 |
| FABRICANTE | DOMINO AMJET IBÉRICA, S.A | SERIE | RS232 |
| AÑO FABRICACIÓN | 2008 | ÁREA DE TRABAJO | EXTRUSIÓN |
| CARACTERÍSTICAS GENERALES | | | |
| FRECUENCIA | 60Hz | VOLTAJE | 120 V |
| PROCEDENCIA | ESPAÑA | PRESIÓN | 2900 mBar |
| AMPERAJE | 4 Amp | TAMAÑO BOQUILLA | 70 a 75 micrones |
| CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS | | | |
| DIMENSIONES | largo x ancho x alto... (0,245 x 0,475 x 0,725) m | | |
| PESO | 36 Kg | | |
| COMPONENTES | | | |
| Viscocimetro | | Manguera | |
| Cabezal | | Secador | |
| Cabina | | Panel de control | |
| Deposito de tinta | | | |
| FUNCIÓN: Codificar la tubería que proviene del Halador | | | |



Fuente: Autor

4.3 Análisis de la situación actual, disponibilidad y fiabilidad de las máquinas y equipos el área de extrusión de la empresa Holviplas S.A.

4.3.1 Parámetros utilizados

4.3.1.1 Estadístico de mantenimiento anual

En este análisis estadístico se determinaron las actividades desarrolladas en el mantenimiento de las máquinas y equipos en el área de extrusión durante el periodo de mayo de 2017 a mayo de 2018, en los cuales no se tomaron en cuenta los días feriados y fines de semana, así como también se realizó el respectivo cálculo de los parámetros sabiendo que el tiempo de operación de las máquinas de la línea de extrusión es de 24 horas debido a la doble jornada laboral presentada en la empresa.

Entre los parámetros calculados se tiene:

TPEF: Tiempo medio entre fallos sucesivos $\left(\frac{TO_1+TO_2+TO_n}{\Sigma n}\right)$ siendo n el número de datos

TTPR: Tiempo medio de reparación $\left(\frac{TR_1+TR_2+TR_n}{\Sigma n}\right)$ siendo n el número de datos

λ : Tasa de fallos $\left(\frac{1}{TPEF}\right)$

μ : Tasa de reparación $\left(\frac{1}{TTPR}\right)$

D: Disponibilidad (Capacidad de un ítem para desarrollar su función durante un determinado período de tiempo $D = \frac{TPEF}{TPEF+TTPR}$)

TO: Tiempo de operación en horas



TR: Tiempo de reparación en horas

TM: Tiempo muerto en horas

TP: Tiempo de paro en horas (TR + TM)

Días: Tiempo que transcurre hasta que ocurra una falla desde el inicio del estudio, (no se toman en cuenta los días de feriado y fines de semana).

Tabla 4. 23. Análisis de la Situación Actual, Disponibilidad y Fiabilidad Extrusora AMUT 94 –Línea 800

|  | | HOLVIPLAS S.A ÁREA DE EXTRUSIÓN | | | | | | | | | |  | | | | | |
|---|---------------------------------------|--|-------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---|-----------|-------|--------------|-------------|--|
| | | ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL, DISPONIBILIDAD Y FIABILIDAD | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Máquina: | | EXTRUSORA AMUT BA 94 | | | | | | Código: | | | | | | H800 | |
| Nº Fallas | ACTIVIDAD | FECHA | DIAS | TO (Horas) | TR (Horas) | TM (Horas) | TP (Horas) | TO (Horas) | TPEF (Horas) | TP (Horas) | TPPR (Horas) | D (%) | λ | μ | F (%) | | |
| Inicio del análisis | | 2/5/2017 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Cambio de cabezal y malla | 16/5/2017 | 10 | 240 | 3 | 4 | 7 | 240 | 240,00 | 7 | 7,00 | 97,17 | 0,004 | 0,143 | 38,2893 | | |
| 1 | Cambio de matricería | 14/6/2017 | 21 | 497 | 2 | 3 | 5 | 497 | 497,00 | 5 | 5,00 | 99,00 | 0,002 | 0,200 | 37,0093 | | |
| 1 | Cambio de malla | 25/7/2017 | 29 | 691 | 0,5 | 1 | 1,5 | 691 | 691,00 | 1,5 | 1,50 | 99,78 | 0,001 | 0,667 | 50,1075 | | |
| 1 | Cambio de cabezal | 21/8/2017 | 19 | 454,5 | 3 | 4 | 7 | 454,5 | 454,50 | 7 | 7,00 | 98,48 | 0,002 | 0,143 | 40,2927 | | |
| 1 | Cambio de cono y Cambio de malla | 12/9/2017 | 16 | 377 | 3 | 4 | 7 | 377 | 377,00 | 7 | 7,00 | 98,18 | 0,003 | 0,143 | 32,2710 | | |
| 1 | Cambio de matricería | 30/10/2017 | 33 | 785 | 2 | 3 | 5 | 785 | 785,00 | 5 | 5,00 | 99,37 | 0,001 | 0,200 | 45,6120 | | |
| 2 | Limpieza de hilera y Cambiar de malla | 6/11/2017 | 4 | 91 | 1 | 2 | 3 | 328 | 164,00 | 10 | 5,00 | 97,04 | 0,006 | 0,200 | 13,9736 | | |
| | | Cambio de cabezal | 20/11/2017 | 10 | 237 | 3 | 4 | | | | | | | | | 7 | |
| 2 | Cambio de matricería | 8/12/2017 | 14 | 329 | 2 | 3 | 5 | 420 | 210,00 | 12 | 6,00 | 97,22 | 0,005 | 0,167 | 12,2456 | | |
| | | Cambio de cabezal | 14/12/2017 | 4 | 91 | 3 | 4 | | | | | | | | | 7 | |
| 3 | Corte de energía | 9/1/2018 | 16 | 377 | 1 | 1,5 | 2,5 | 683,5 | 227,83 | 7 | 2,33 | 98,99 | 0,004 | 0,429 | 6,4959 | | |
| | | Abastecimiento de agua de para duchas de tinas | 19/1/2018 | 8 | 189,5 | 1 | 2 | | | | | | | | | 3 | |
| | | Cambio de malla del filtro | 26/1/2018 | 5 | 117 | 0,5 | 1 | | | | | | | | | 1,5 | |
| 1 | Cambio de matricería | 16/2/2018 | 14 | 334,5 | 2 | 3 | 5 | 334,5 | 334,50 | 5 | 5,00 | 98,53 | 0,003 | 0,200 | 36,6594 | | |
| 2 | Cambio de campana | 28/3/2018 | 28 | 667 | 1 | 2 | 3 | 712 | 356,00 | 4,5 | 2,25 | 99,37 | 0,003 | 0,444 | 11,8126 | | |
| | | Cambio de malla | 30/3/2018 | 2 | 45 | 0,5 | 1 | | | | | | | | | 1,5 | |
| 1 | Cambio de matricería | 20/4/2018 | 15 | 358,5 | 2 | 3 | 5 | 358,5 | 358,50 | 5 | 5,00 | 98,62 | 0,003 | 0,200 | 34,1127 | | |
| 3 | Limpieza de la tolva | 8/5/2018 | 11 | 259 | 0,5 | 1 | 1,5 | 869,5 | 289,83 | 13,5 | 4,50 | 98,47 | 0,003 | 0,222 | 7,3645 | | |
| | | Cambio de cabezal | 22/5/2018 | 10 | 238,5 | 3 | 4 | | | | | | | | | 7 | |
| | | Arreglo sierra de corte | 22/5/2018 | 10 | 233 | 2 | 3 | | | | | | | | | 5 | |
| Fin del análisis | | 31/5/2018 | 6 | 139 | | | | | | | | 98,48 | 0,003 | 0,26 | 28,17 | | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|----|--------------|--------|--|--|------|--------|---------|------|-------|-------|--------|-------|--|
| 20 | TOTAL | 6750,5 | | | 89,5 | 6750,5 | 4985,17 | 89,5 | 62,58 | 98,76 | 0,0002 | 0,016 | |
|----|--------------|--------|--|--|------|--------|---------|------|-------|-------|--------|-------|--|

Tabla 4. 24. Análisis de la Situación Actual, Disponibilidad y Fiabilidad Tina de vacío –Línea 800



|  | | HOLVIPLAS S.A ÁREA DE EXTRUSIÓN | | | | | | | | | |  | | | | | |
|---|--|--|------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---|---------------|--------------|---------|------|--|
| | | ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL, DISPONIBILIDAD Y FIABILIDAD | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Máquina: | | TINA DE VACÍO | | | | | | Código: | | | | | | H801 | |
| N° Fallas | ACTIVIDAD | FECHA | DIAS | TO (Horas) | TR (Horas) | TM (Horas) | TP (Horas) | TO (Horas) | TPEF (Horas) | TP (Horas) | TPPR (Horas) | D (%) | λ | μ | F (%) | | |
| Inicio del análisis | | 2/5/2017 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Cambio de pernos de calibrador | 8/5/2017 | 5 | 120 | 0,5 | 1 | 1,5 | 120 | 120,00 | 1,5 | 1,50 | 98,77 | 0,008 | 0,667 | 38,2893 | | |
| 1 | Reparación de sistema de enfriamiento de la tina | 6/6/2017 | 21 | 502,5 | 2 | 3 | 5 | 502,5 | 502,50 | 5 | 5,00 | 99,01 | 0,002 | 0,200 | 36,6045 | | |
| 1 | Cambio de expulsores de agua | 12/7/2017 | 26 | 619 | 1,5 | 2,5 | 4 | 619 | 619,00 | 4 | 4,00 | 99,36 | 0,002 | 0,250 | 28,9964 | | |
| 1 | Cambio de caucho de tapa de tina | 16/8/2017 | 24 | 572 | 0,5 | 1,5 | 2 | 572 | 572,00 | 2 | 2,00 | 99,65 | 0,002 | 0,500 | 31,8542 | | |
| 1 | Reparación de bomba de vacío de tina | 7/9/2017 | 16 | 382 | 3 | 4 | 7 | 382 | 382,00 | 7 | 7,00 | 98,20 | 0,003 | 0,143 | 31,7906 | | |
| 1 | Cambio de filtro de agua de tina | 12/10/2017 | 24 | 569 | 1 | 2 | 3 | 569 | 569,00 | 3 | 3,00 | 99,48 | 0,002 | 0,333 | 32,0459 | | |
| 1 | Chequeo de tablero de control de la tina | 21/11/2017 | 27 | 645 | 1 | 2 | 3 | 645 | 645,00 | 3 | 3,00 | 99,54 | 0,002 | 0,333 | 27,5271 | | |
| 1 | Cambio de sensor de cierre de nivel de agua en la tina | 6/12/2017 | 11 | 261 | 0,5 | 1 | 1,5 | 261 | 261,00 | 1,5 | 1,50 | 99,43 | 0,004 | 0,667 | 35,2044 | | |
| 1 | Cambio válvula de pie | 11/1/2018 | 24 | 574,5 | 0,5 | 1 | 1,5 | 574,5 | 574,50 | 1,5 | 1,50 | 99,74 | 0,002 | 0,667 | 31,6954 | | |
| 1 | Cambio de la electroválvula | 12/2/2018 | 22 | 526,5 | 0,5 | 1 | 1,5 | 526,5 | 526,50 | 1,5 | 1,50 | 99,72 | 0,002 | 0,667 | 34,8890 | | |
| 1 | Cambio de filtro de agua de tina | 14/3/2018 | 21 | 502,5 | 1 | 2 | 3 | 502,5 | 502,50 | 3 | 3,00 | 99,41 | 0,002 | 0,333 | 36,6045 | | |
| 1 | Chequeo de tablero de control de la tina | 17/4/2018 | 24 | 573 | 1 | 2 | 3 | 573 | 573,00 | 3 | 3,00 | 99,48 | 0,002 | 0,333 | 31,7906 | | |
| 1 | Cambio de expulsores de agua | 10/5/2018 | 16 | 381 | 1,5 | 2,5 | 4 | 381 | 381,00 | 4 | 4,00 | 98,96 | 0,003 | 0,250 | 31,8861 | | |
| Fin del análisis | | 31/5/2018 | 15 | 356 | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | TOTAL | | | 6584 | | | 40 | 6228 | 6228,0 | 40 | 40,00 | 99,36 | 0,0002 | 0,025 | | | |

Tabla 4. 25. Análisis de la Situación Actual, Disponibilidad y Fiabilidad Halador –Línea 800



|  | | HOLVIPLAS S.A ÁREA DE EXTRUSIÓN | | | | | | | | | |  | | | | | | |
|---|---|--|---------|----------------|------------|------------|--------------|----------------|----------------|--------------|--------------|---|---------------|--------------|---------|--|--|--|
| | | ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL, DISPONIBILIDAD Y FIABILIDAD | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Máquina: | HALADOR | | | | | Código: | H802 | | | | | | | | | |
| Nº Fallas | ACTIVIDAD | FECHA | DIAS | TO (Horas) | TR (Horas) | TM (Horas) | TP (Horas) | T (Horas) | TPEF (Horas) | TP (Horas) | TPPR (Horas) | D (%) | λ | μ | F (%) | | | |
| Inicio del análisis | | 2/5/2017 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Cambio de pernos de orugas de halador | 10/5/2017 | 6 | 144 | 1 | 2 | 3 | 144 | 144,00 | 3 | 3,00 | 97,96 | 0,007 | 0,333 | 36,4948 | | | |
| 1 | Reparación de cadena de halador | 20/6/2017 | 29 | 693 | 1,5 | 2,5 | 4 | 693 | 693,00 | 4 | 4,00 | 99,43 | 0,001 | 0,250 | 50,0074 | | | |
| 1 | Chequeo de tablero de control del halador | 12/7/2017 | 16 | 380 | 1 | 2 | 3 | 380 | 380,00 | 3 | 3,00 | 99,22 | 0,003 | 0,333 | 31,9819 | | | |
| 1 | Lubricación de sistema de movimiento de oruga | 21/8/2017 | 27 | 645 | 0,5 | 1 | 1,5 | 645 | 645,00 | 1,5 | 1,50 | 99,77 | 0,002 | 0,667 | 27,5271 | | | |
| 1 | Reparación de motorreductor | 12/9/2017 | 16 | 382,5 | 3 | 4 | 7 | 382,5 | 382,50 | 7 | 7,00 | 98,20 | 0,003 | 0,143 | 31,7429 | | | |
| 1 | Cambio de rodamiento de la caja | 30/10/2017 | 32 | 761 | 1 | 2 | 3 | 761 | 761,00 | 3 | 3,00 | 99,61 | 0,001 | 0,333 | 46,7199 | | | |
| 1 | Cambio de rodamientos de la caja inferior | 6/11/2017 | 4 | 93 | 1,5 | 2,5 | 4 | 93 | 93,00 | 4 | 4,00 | 95,88 | 0,011 | 0,250 | 35,9515 | | | |
| 1 | Cambio de piñones caja superior | 20/12/2017 | 32 | 764 | 1 | 2 | 3 | 764 | 764,00 | 3 | 3,00 | 99,61 | 0,001 | 0,333 | 50,9666 | | | |
| 1 | Ajuste de tornillos de la tapa inferior | 8/1/2018 | 11 | 261 | 0,17 | 1 | 1,17 | 261 | 261,00 | 1,17 | 1,17 | 99,55 | 0,004 | 0,855 | 35,2044 | | | |
| 1 | Cambio de zapatas | 13/2/2018 | 26 | 622,83 | 1 | 2 | 3 | 622,83 | 622,83 | 3 | 3,00 | 99,52 | 0,002 | 0,333 | 28,7751 | | | |
| 1 | Reparación de cadena de halador | 9/3/2018 | 17 | 405 | 1,5 | 2,5 | 4 | 405 | 405,00 | 4 | 4,00 | 99,02 | 0,002 | 0,250 | 44,4858 | | | |
| 1 | Lubricación de sistema de movimiento de oruga | 19/4/2018 | 29 | 692 | 0,5 | 1 | 1,5 | 692 | 692,00 | 1,5 | 1,50 | 99,78 | 0,001 | 0,667 | 50,0574 | | | |
| 1 | Chequeo de tablero de control del halador | 25/5/2018 | 24 | 574,5 | 1 | 2 | 3 | 574,5 | 574,50 | 3 | 3,00 | 99,48 | 0,002 | 0,333 | 31,6954 | | | |
| Fin del análisis | | 31/5/2018 | 4 | 93 | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | TOTAL | | | 6510,83 | | | 41,17 | 6417,83 | 6417,83 | 41,17 | 41,17 | 99,36 | 0,0002 | 0,024 | | | | |

Tabla 4. 26. Análisis de la Situación Actual, Disponibilidad y Fiabilidad Cortador–Línea 800







|  | | HOLVIPLAS S.A ÁREA DE EXTRUSIÓN | | | | | | | | | |  | | | | | |
|---|--|--|---------------|----------------|------------|------------|--------------|----------------|----------------|--------------|--------------|---|---------------|--------------|---------|--|--|
| | | ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL, DISPONIBILIDAD Y FIABILIDAD | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Máquina: | CORTADOR AMUT | | | | | Código: | H803 | | | | | | | | |
| Nº Fallas | ACTIVIDAD | FECHA | DIAS | TO (Horas) | TR (Horas) | TM (Horas) | TP (Horas) | TO (Horas) | TPEF (Horas) | TP (Horas) | TPPR (Horas) | D (%) | λ | μ | F (%) | | |
| Inicio del análisis | | 2/5/2017 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Cambio de bandas | 18/5/2017 | 12 | 288 | 1 | 2 | 3 | 288 | 288,00 | 3 | 3,00 | 98,97 | 0,003 | 0,333 | 42,1473 | | |
| 1 | Cambio de disco de corte | 16/6/2017 | 21 | 501 | 1 | 2 | 3 | 501 | 501,00 | 3 | 3,00 | 99,40 | 0,002 | 0,333 | 36,7144 | | |
| 1 | Reposición de contactor del sistema de control | 19/7/2017 | 23 | 549 | 1 | 2 | 3 | 549 | 549,00 | 3 | 3,00 | 99,46 | 0,002 | 0,333 | 33,3537 | | |
| 1 | Cambio del térmico del control del motor | 22/8/2017 | 23 | 549 | 1 | 2 | 3 | 549 | 549,00 | 3 | 3,00 | 99,46 | 0,002 | 0,333 | 33,3537 | | |
| 1 | Reparación del motor del sistema del cortador | 20/9/2017 | 21 | 501 | 3 | 4 | 7 | 501 | 501,00 | 7 | 7,00 | 98,62 | 0,002 | 0,143 | 36,7144 | | |
| 1 | Limpieza de impurezas de PVC del sistema del cortador | 5/10/2017 | 11 | 257 | 1,5 | 2,5 | 4 | 257 | 257,00 | 4 | 4,00 | 98,47 | 0,004 | 0,250 | 35,7722 | | |
| 1 | Cambio de pernos de la cubierta del disco | 16/11/2017 | 28 | 668 | 0,5 | 1 | 1,5 | 668 | 668,00 | 1,5 | 1,50 | 99,78 | 0,001 | 0,667 | 51,2733 | | |
| 1 | Limpieza de electroválvulas del sistema neumático del cortador | 12/12/2017 | 18 | 430,5 | 1 | 2 | 3 | 430,5 | 430,50 | 3 | 3,00 | 99,31 | 0,002 | 0,333 | 42,2739 | | |
| 1 | Cambio de electroválvulas del sistema neumático del cortador | 10/1/2018 | 19 | 453 | 0,5 | 1 | 1,5 | 453 | 453,00 | 1,5 | 1,50 | 99,67 | 0,002 | 0,667 | 40,4138 | | |
| 1 | Cambio de zapatas | 22/2/2018 | 30 | 718,5 | 0,5 | 1 | 1,5 | 718,5 | 718,50 | 1,5 | 1,50 | 99,79 | 0,001 | 0,667 | 48,7483 | | |
| 1 | Cambio de la bobina del solenoide | 15/3/2018 | 15 | 358,5 | 0,5 | 1 | 1,5 | 358,5 | 358,50 | 1,5 | 1,50 | 99,58 | 0,003 | 0,667 | 34,1127 | | |
| 1 | Cambio de resistencias | 12/4/2018 | 19 | 454,5 | 0,25 | 1 | 1,25 | 454,5 | 454,50 | 1,25 | 1,25 | 99,73 | 0,002 | 0,800 | 40,2927 | | |
| 1 | Limpieza de impurezas de PVC del sistema del cortador | 25/5/2018 | 28 | 670,75 | 1,5 | 2,5 | 4 | 670,75 | 670,75 | 4 | 4,00 | 99,41 | 0,001 | 0,250 | 51,1325 | | |
| Fin del análisis | | 31/5/2018 | 5 | 116 | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | TOTAL | | | 6514,75 | | | 37,25 | 6398,75 | 6398,75 | 37,25 | 37,25 | 99,42 | 0,0002 | 0,027 | | | |

Tabla 4. 27. Análisis de la Situación Actual, Disponibilidad y Fiabilidad Acampanador–Línea 800

|  | | HOLVIPLAS S.A ÁREA DE EXTRUSIÓN | | | | | | | | | |  | | | | | |
|---|---|--|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|---|-----------|-------|--------------|--|--|
| | | ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL, DISPONIBILIDAD Y FIABILIDAD | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Máquina: | | ACAMPANADOR | | | | | Código: | | H804 | | | | | | |
| Nº Fallas | ACTIVIDAD | FECHA | DIAS | TO (Horas) | TR (Horas) | TM (Horas) | TP (Horas) | TO (Horas) | TPEF (Horas) | TP (Horas) | TPPR (Horas) | D (%) | λ | μ | F (%) | | |
| Inicio del análisis | | 2/5/2017 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | La bobina de la electroválvula esta quemada | 9/5/2017 | 5 | 120 | 0,5 | 1 | 1,5 | 120 | 120,00 | 1,5 | 1,50 | 98,77 | 0,008 | 0,667 | 38,2893 | | |
| 1 | La resistencia de la acampanadora está en corto | 12/6/2017 | 24 | 574,5 | 0,25 | 1 | 1,25 | 574,5 | 574,50 | 1,25 | 1,25 | 99,78 | 0,002 | 0,800 | 31,6954 | | |
| 1 | Resistencia estallada | 21/7/2017 | 29 | 694,75 | 0,25 | 1 | 1,25 | 694,75 | 694,75 | 1,25 | 1,25 | 99,82 | 0,001 | 0,800 | 49,9199 | | |
| 1 | Cambio de resistencia | 18/8/2017 | 19 | 454,75 | 1 | 2 | 3 | 454,75 | 454,75 | 3 | 3,00 | 99,34 | 0,002 | 0,333 | 40,2726 | | |
| 1 | La manguera que va hacia el cilindro está rota | 11/9/2017 | 16 | 381 | 1 | 2 | 3 | 381 | 381,00 | 3 | 3,00 | 99,22 | 0,003 | 0,333 | 31,8861 | | |
| 1 | Revisión de contactor | 18/10/2017 | 26 | 621 | 0,5 | 1 | 1,5 | 621 | 621,00 | 1,5 | 1,50 | 99,76 | 0,002 | 0,667 | 28,8806 | | |
| 1 | Cambio de bobina | 3/11/2017 | 11 | 262,5 | 1 | 2 | 3 | 262,5 | 262,50 | 3 | 3,00 | 98,87 | 0,004 | 0,333 | 34,9938 | | |
| 1 | En la universal presenta fuga, no carga porque chupa aire | 7/12/2017 | 24 | 573 | 0,5 | 1 | 1,5 | 573 | 573,00 | 1,5 | 1,50 | 99,74 | 0,002 | 0,667 | 31,7906 | | |
| 1 | Revisión el nivel del aceite de los motorreductores | 12/1/2018 | 24 | 574,5 | 1 | 2 | 3 | 574,5 | 574,50 | 3 | 3,00 | 99,48 | 0,002 | 0,333 | 31,6954 | | |
| 1 | Inspección general de los motorreductores | 7/2/2018 | 18 | 429 | 2 | 3 | 5 | 429 | 429,00 | 5 | 5,00 | 98,85 | 0,002 | 0,200 | 42,4009 | | |
| 1 | Revisión el ajuste de los racores | 20/3/2018 | 29 | 691 | 2 | 3 | 5 | 691 | 691,00 | 5 | 5,00 | 99,28 | 0,001 | 0,200 | 50,1075 | | |
| 1 | Inspección general del horno. | 18/4/2018 | 21 | 499 | 1 | 2 | 3 | 499 | 499,00 | 3 | 3,00 | 99,40 | 0,002 | 0,333 | 36,8616 | | |
| 1 | Revisión de general del sistema eléctrico | 14/5/2018 | 17 | 405 | 2 | 3 | 5 | 405 | 405,00 | 5 | 5,00 | 98,78 | 0,002 | 0,200 | 44,4858 | | |
| Fin del análisis | | 31/5/2018 | 13 | 307 | | | | | | | | | | | | | |



| | | | | | | | | | | | | |
|----|-------|------|--|----|------|---------|----|-------|-------|--------|-------|--|
| 13 | TOTAL | 6587 | | 37 | 6280 | 6280,00 | 37 | 37,00 | 99,41 | 0,0002 | 0,027 | |
|----|-------|------|--|----|------|---------|----|-------|-------|--------|-------|--|

Tabla 4. 28. Análisis de la Situación Actual, Disponibilidad y Fiabilidad Impresora de tubería

|  | | HOLVIPLAS S.A ÁREA DE EXTRUSIÓN | | | | | | | | | |  | | | | | |
|---|--|---|----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|------------|--------------|---|-----------|-------|--------|--|--|
| | | ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL, DISPONIBILIDAD Y FIABILIDAD | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Máquina: | IMPRESORA DE TUBERÍA | | | | | | Código: | IMP-01 | | | | | | | |
| Nº Fallas | ACTIVIDAD | FECHA | DIAS | TO (Horas) | TR (Horas) | TM (Horas) | TP (Horas) | TO (Horas) | TPEF (Horas) | TP (Horas) | TPPR (Horas) | D (%) | λ | μ | F (%) | | |
| Inicio del análisis | | 2/5/2017 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Inspección del sistema eléctrico | 5/5/2017 | 3 | 72 | 1 | 2 | 3 | 259,5 | 86,50 | 9,5 | 3,17 | 96,47 | 0,012 | 0,316 | 4,442 | | |
| | Verificación del nivel de tinta | 8/5/2017 | 1 | 21 | 0,5 | 1 | 1,5 | | | | | | | | | | |
| | Cambio de filtros y cartuchos de tinta | 17/5/2017 | 7 | 166,5 | 2 | 3 | 5 | | | | | | | | | | |
| 2 | Verificación del nivel de tinta | 8/6/2017 | 16 | 379 | 0,5 | 1 | 1,5 | 545,5 | 272,75 | 6,5 | 3,25 | 98,82 | 0,004 | 0,308 | 11,282 | | |
| | Cambio de filtros y cartuchos de tinta | 19/6/2017 | 7 | 166,5 | 2 | 3 | 5 | | | | | | | | | | |
| 2 | Verificación del nivel de tinta | 10/7/2017 | 15 | 355 | 0,5 | 1 | 1,5 | 521,5 | 260,75 | 6,5 | 3,25 | 98,77 | 0,004 | 0,308 | 12,418 | | |
| | Cambio de filtros y cartuchos de tinta | 19/7/2017 | 7 | 166,5 | 2 | 3 | 5 | | | | | | | | | | |
| 3 | Inspección del sistema eléctrico | 7/8/2017 | 13 | 307 | 1 | 2 | 3 | 518,5 | 172,83 | 9,5 | 3,17 | 98,20 | 0,006 | 0,316 | 4,456 | | |
| | Verificación del nivel de tinta | 11/8/2017 | 3 | 69 | 0,5 | 1 | 1,5 | | | | | | | | | | |
| | Cambio de filtros y cartuchos de tinta | 21/8/2017 | 6 | 142,5 | 2 | 3 | 5 | | | | | | | | | | |
| 2 | Verificación del nivel de tinta | 11/9/2017 | 15 | 355 | 0,5 | 1 | 1,5 | 545,5 | 272,75 | 6,5 | 3,25 | 98,82 | 0,004 | 0,308 | 11,282 | | |
| | Cambio de filtros y cartuchos de tinta | 21/9/2017 | 8 | 190,5 | 2 | 3 | 5 | | | | | | | | | | |
| 2 | Verificación del nivel de tinta | 11/10/2017 | 13 | 307 | 0,5 | 1 | 1,5 | 473,5 | 236,75 | 6,5 | 3,25 | 98,65 | 0,004 | 0,308 | 15,047 | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|--|------------------|----|---------------|-----|---|-------------|---------------|----------------|-------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------|
| | Cambio de filtros y cartuchos de tinta | 20/10/2017 | 7 | 166,5 | 2 | 3 | 5 | | | | | | | | |
| 3 | Inspección del sistema eléctrico | 6/11/2017 | 11 | 259 | 1 | 2 | 3 | 494,5 | 164,83 | 9,5 | 3,17 | 98,12 | 0,006 | 0,316 | 5,146 |
| | Verificación del nivel de tinta | 10/11/2017 | 4 | 93 | 0,5 | 1 | 1,5 | | | | | | | | |
| | Cambio de filtros y cartuchos de tinta | 20/11/2017 | 6 | 142,5 | 2 | 3 | 5 | | | | | | | | |
| 2 | Verificación del nivel de tinta | 11/12/2017 | 15 | 355 | 0,5 | 1 | 1,5 | 545,5 | 272,75 | 6,5 | 3,25 | 98,82 | 0,004 | 0,308 | 11,282 |
| | Cambio de filtros y cartuchos de tinta | 20/12/2017 | 8 | 190,5 | 2 | 3 | 5 | | | | | | | | |
| 2 | Verificación del nivel de tinta | 11/1/2018 | 14 | 331 | 0,5 | 1 | 1,5 | 473,5 | 236,75 | 6,5 | 3,25 | 98,65 | 0,004 | 0,308 | 15,047 |
| | Cambio de filtros y cartuchos de tinta | 19/1/2018 | 6 | 142,5 | 2 | 3 | 5 | | | | | | | | |
| 3 | Inspección del sistema eléctrico | 5/2/2018 | 11 | 259 | 1 | 2 | 3 | 494,5 | 164,83 | 9,5 | 3,17 | 98,12 | 0,006 | 0,316 | 5,146 |
| | Verificación del nivel de tinta | 12/2/2018 | 5 | 117 | 0,5 | 1 | 1,5 | | | | | | | | |
| | Cambio de filtros y cartuchos de tinta | 19/2/2018 | 5 | 118,5 | 2 | 3 | 5 | | | | | | | | |
| 2 | Verificación del nivel de tinta | 12/3/2018 | 15 | 355 | 0,5 | 1 | 1,5 | 473,5 | 236,75 | 6,5 | 3,25 | 98,65 | 0,004 | 0,308 | 15,047 |
| | Cambio de filtros y cartuchos de tinta | 19/3/2018 | 5 | 118,5 | 2 | 3 | 5 | | | | | | | | |
| 2 | Verificación del nivel de tinta | 12/4/2018 | 18 | 427 | 0,5 | 1 | 1,5 | 545,5 | 272,75 | 6,5 | 3,25 | 98,82 | 0,004 | 0,308 | 11,282 |
| | Cambio de filtros y cartuchos de tinta | 19/4/2018 | 5 | 118,5 | 2 | 3 | 5 | | | | | | | | |
| 3 | Inspección del sistema eléctrico | 7/5/2018 | 11 | 259 | 1 | 2 | 3 | 681,5 | 227,17 | 9,5 | 3,17 | 98,63 | 0,004 | 0,316 | 6,548 |
| | Verificación del nivel de tinta | 14/5/2018 | 5 | 117 | 0,5 | 1 | 1,5 | | | | | | | | |
| | Cambio de filtros y cartuchos de tinta | 18/5/2018 | 4 | 94,5 | 2 | 3 | 5 | | | | | | | | |
| Fin del análisis | | 31/5/2018 | 9 | 211 | | | | | | | | | | | |
| 31 | TOTAL | | | 6572,5 | | | 99,5 | 6572,5 | 2878,17 | 99,5 | 41,83 | 98,57 | 0,0003 | 0,024 | |

Tabla 4. 29. Análisis de la Situación Actual, Disponibilidad y Fiabilidad Transporte hidráulico

|  | | HOLVIPLAS S.A ÁREA DE EXTRUSIÓN | | | | | | | | | |  | | | | | |
|---|--|---|-------------|------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|---|---------------|--------------|--------------|--------------|--|
| | | ANÁLISIS DEL ESTADO, DISPONIBILIDAD Y FIABILIDAD | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Máquina: | | TRANSPORTE HIDRÁULICO | | | | | | Código: | | | | | | TR-01 | |
| Nº Fallas | ACTIVIDAD | FECHA | DIAS | TO (Horas) | TR (Horas) | TM (Horas) | TP (Horas) | TO (Horas) | TPEF (Horas) | TP (Horas) | TPPR (Horas) | D (%) | λ | μ | F (%) | | |
| Inicio del análisis | | 2/5/2017 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Cambio de empaques en mal estado | 29/5/2017 | 19 | 152 | 0,5 | 1 | 1,5 | 152 | 152 | 1,5 | 1,5 | 99,02 | 0,007 | 0,667 | 34,507 | | |
| 1 | Reposición de seguros averiados | 26/6/2017 | 20 | 158,5 | 1 | 2 | 3 | 158,5 | 158,5 | 3 | 3 | 98,14 | 0,006 | 0,333 | 38,635 | | |
| 1 | Cambio de aceite de bomba hidráulica | 24/7/2017 | 20 | 157 | 1,5 | 2,5 | 4 | 157 | 157 | 4 | 4 | 97,52 | 0,006 | 0,250 | 38,985 | | |
| 1 | Cambio de pernos aislados | 14/8/2017 | 15 | 116 | 0,5 | 1 | 1,5 | 194,5 | 194,5 | 4,5 | 4,5 | 97,74 | 0,005 | 0,222 | 37,814 | | |
| 1 | Cambio de rodamientos | 28/8/2017 | 10 | 78,5 | 1 | 2 | 3 | | | | | | | | | | |
| 1 | Cambio de llantas | 27/11/2017 | 65 | 517 | 2 | 3 | 5 | 517 | 517 | 5 | 5 | 99,04 | 0,002 | 0,200 | 35,558 | | |
| 1 | Reparación del sistema de accenso y descenso | 12/3/2018 | 74 | 587 | 3 | 4 | 7 | 587 | 587 | 7 | 7 | 98,82 | 0,002 | 0,143 | 30,913 | | |
| 1 | Soldar y pintar la estructura | 7/5/2018 | 38 | 297 | 2,5 | 3,5 | 6 | 297 | 297 | 6 | 6 | 98,02 | 0,003 | 0,167 | 41,025 | | |
| Fin del análisis | | 31/5/2018 | 3 | 18 | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | TOTAL | | | 2081 | | | 31 | 2063 | 2063,00 | 31 | 31,00 | 98,52 | 0,0005 | 0,032 | | | |

4.4. Representación gráfica de la curva de la bañera de máquinas y equipos, análisis de gráficas.

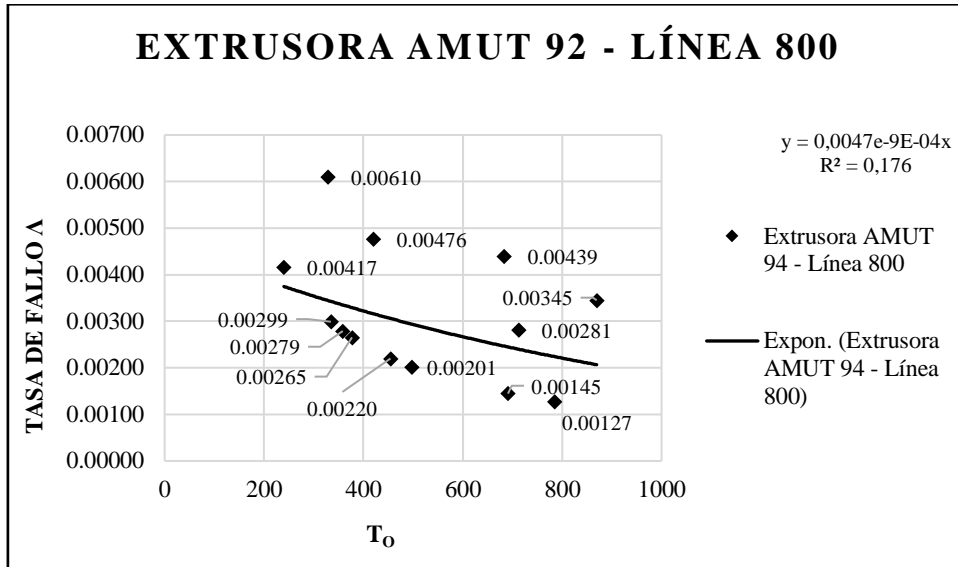


Fig. 4. 2. Gráfica de la curva de la bañera de la Extrusora - Línea 800
Fuente: Autor

En la Figura 4,2 se puede apreciar que hasta la fecha actual el estado de la máquina se encuentra en buen funcionamiento y su respectiva grafica de la curva de la bañera proporciona una semejanza con la etapa 1 y 2 de la curva de la bañera determinando así que la máquina está en muy buen estado para cumplir su función dentro de la empresa.

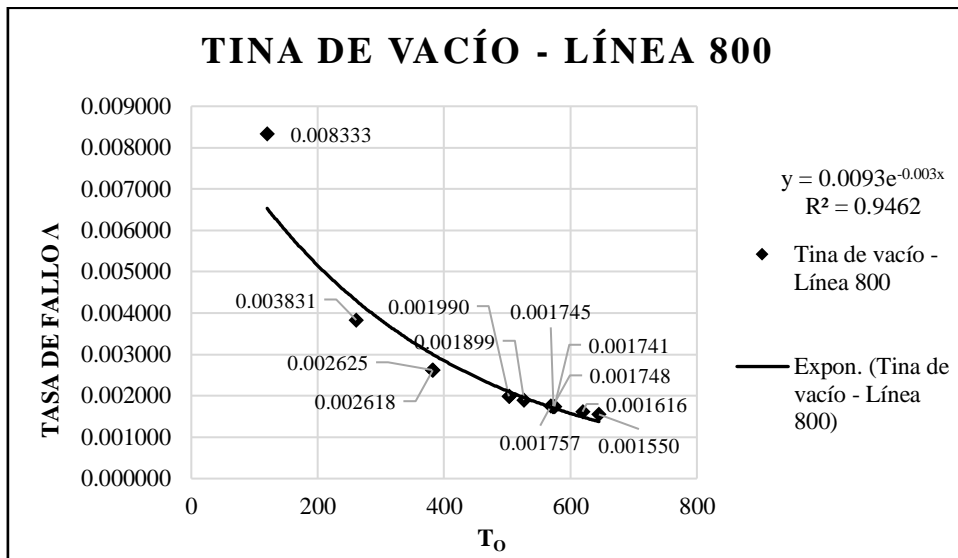


Fig. 4. 3. Gráfica de la curva de la bañera Tina de vacío - Línea 800
Fuente: Autor

En la Figura 4,3 se puede apreciar que hasta la fecha actual el estado de la máquina se encuentra en buen funcionamiento y su respectiva grafica de la curva de la bañera

proporciona una semejanza con la etapa 1 y 2 de la curva de la bañera determinando así que la máquina está en muy buen estado para cumplir su función dentro de la empresa.

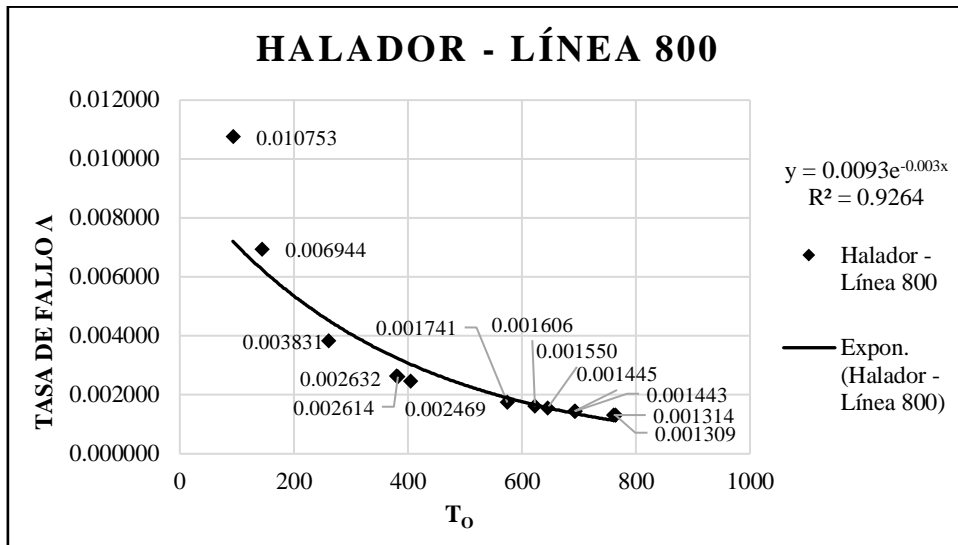


Fig. 4. 4. Gráfica de la curva de la bañera Halador - Línea 800
Fuente: Autor

En la Figura 4,4 se puede apreciar que hasta la fecha actual el estado de la máquina se encuentra en buen funcionamiento y su respectiva grafica de la curva de la bañera proporciona una semejanza con la etapa 1 y 2 de la curva de la bañera determinando así que la máquina está en muy buen estado para cumplir su función dentro de la empresa.

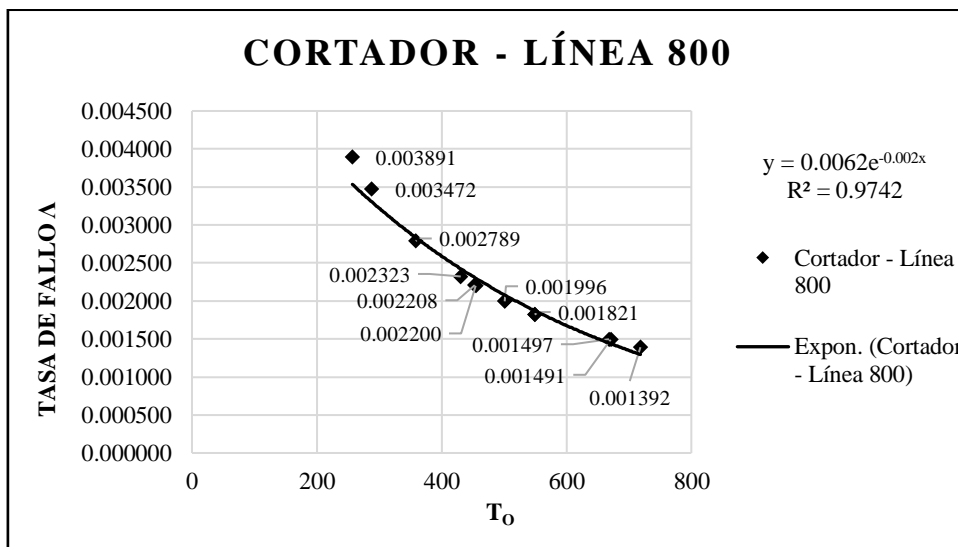


Fig. 4. 5. Gráfica de la curva de la bañera Cortador - Línea 800
Fuente: Autor

En la Figura 4,5 se puede apreciar que hasta la fecha actual el estado de la máquina se encuentra en buen funcionamiento y su respectiva grafica de la curva de la bañera proporciona una semejanza con la etapa 1 y 2 de la curva de la bañera determinando así que la máquina está en muy buen estado para cumplir su función dentro de la empresa.

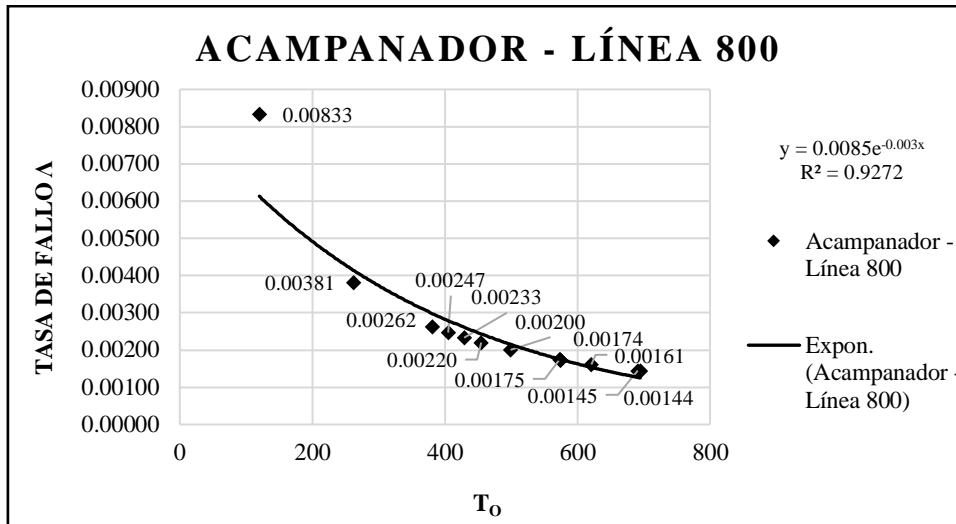


Fig. 4. 6. Gráfica de la curva de la bañera Acampanador
Fuente: Autor

En la Figura 4,6 se puede apreciar que hasta la fecha actual el estado de la máquina se encuentra en buen funcionamiento y su respectiva grafica de la curva de la bañera proporciona una semejanza con la etapa 1 y 2 de la curva de la bañera determinando así que la máquina está en muy buen estado para cumplir su función dentro de la empresa.

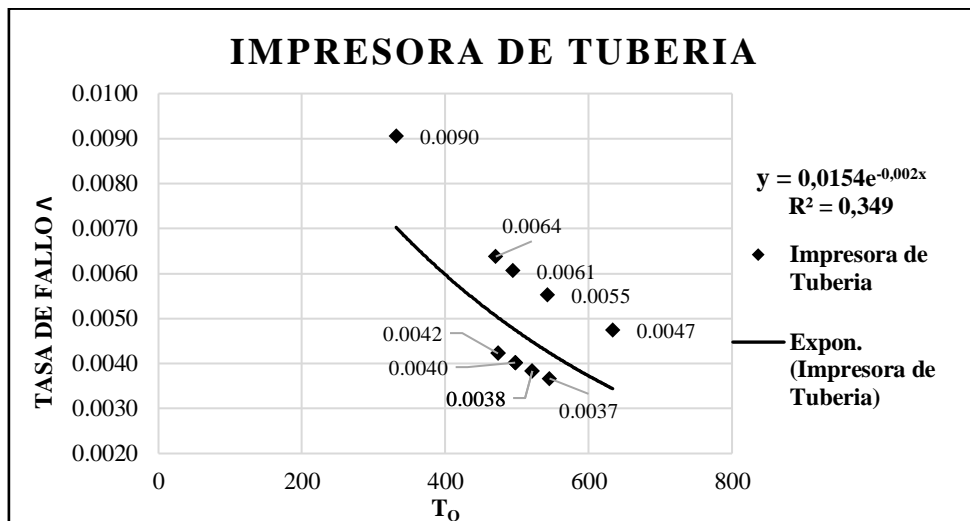


Fig. 4. 7. Gráfica de la curva de la bañera de la Impresora de Tubería
Fuente: Autor

En la Figura 4,7 se puede apreciar que hasta la fecha actual el estado de la máquina se encuentra en buen funcionamiento y su respectiva grafica de la curva de la bañera proporciona una semejanza con la etapa 1 y 2 de la curva de la bañera determinando así que la máquina está en muy buen estado para cumplir su función dentro de la empresa.

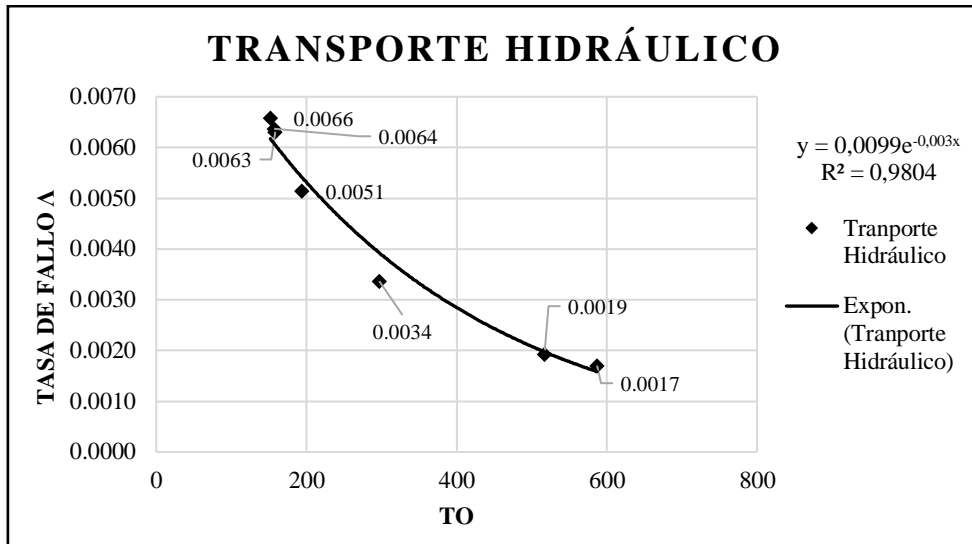


Fig. 4. 8. Gráfica de la curva de la bañera Transporte Hidráulico
Fuente: Autor

En la Figura 4,8 se puede apreciar que hasta la fecha actual el estado de la máquina se encuentra en buen funcionamiento y su respectiva grafica de la curva de la bañera proporciona una semejanza con la etapa 1 y 2 de la curva de la bañera determinando así que la máquina está en muy buen estado para cumplir su función dentro de la empresa.

4.4.1. Gráficas de fiabilidad R (t) vs tiempo de operación (t_o)

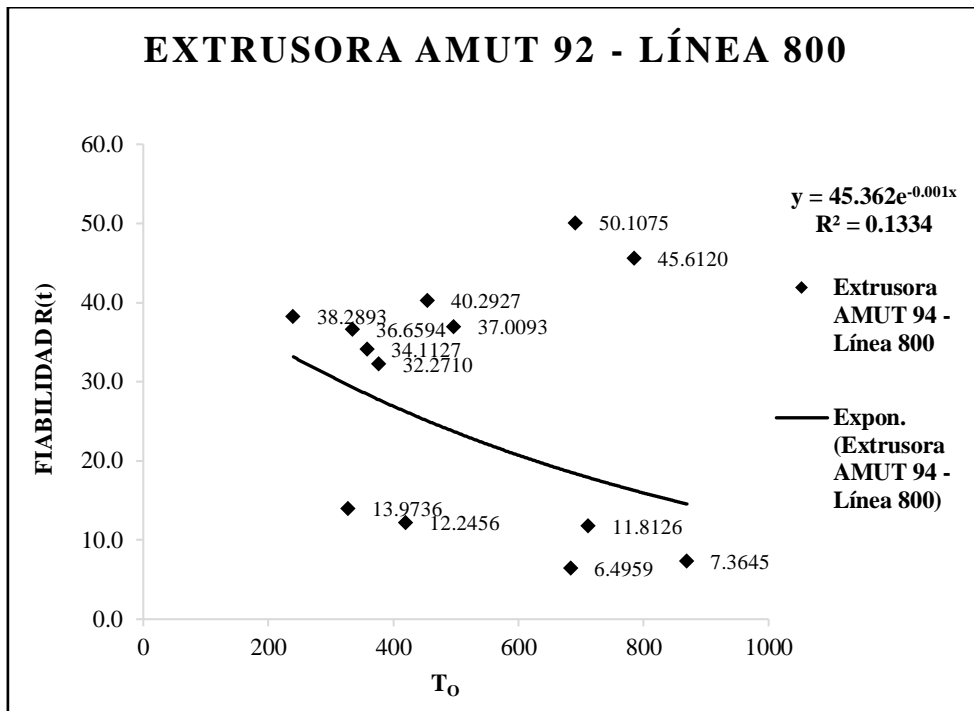


Fig. 4. 9. Fiabilidad extrusora AMUT 92 línea de extrusión 800

Fuente: Autor

Conclusiones:

- Se puede identificar en la gráfica de fiabilidad (Figura 4.9), un valor máximo de fiabilidad de 50,1075% correspondiente al mes de julio con un tiempo de operación de 691 horas
- Se puede identificar en la gráfica de fiabilidad (Figura 4.9), un valor mínimo de fiabilidad de 6,4959% correspondiente al mes de enero con un tiempo de operación de 683,5 horas
- Con referencia a la línea de tendencia en la gráfica de fiabilidad (Figura 4.9), se puede decir que la Máquina: extrusora se encuentra en la zona de falla infantil en la curva de Davis (curva de la bañera)

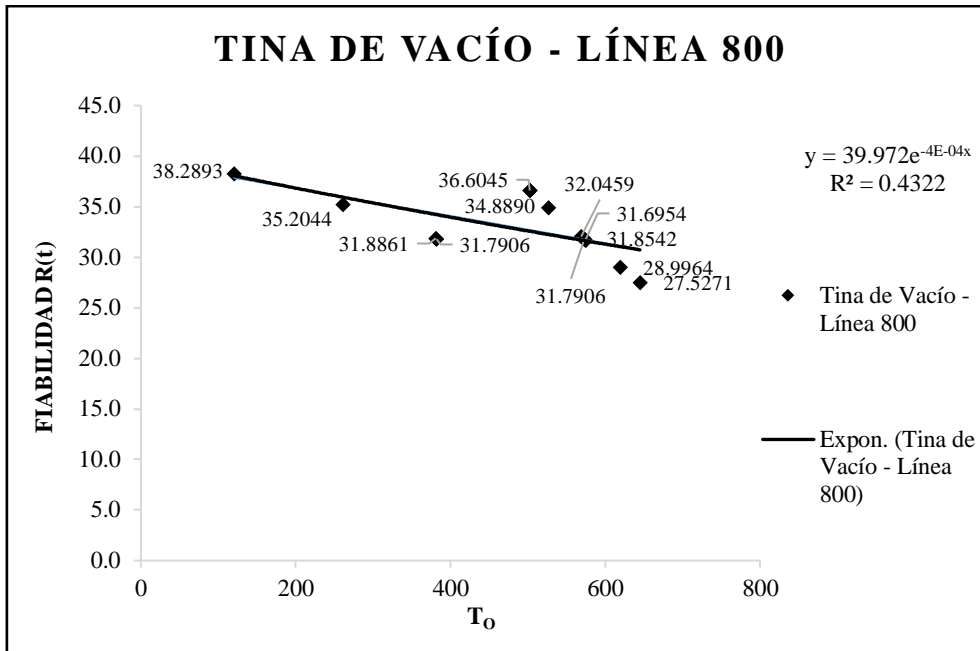


Fig. 4. 10. Fiabilidad Tina de vacío línea de extrusión 800
Fuente: Autor

Conclusiones:

- Se puede identificar en la gráfica de fiabilidad (Figura 4.10), un valor máximo de fiabilidad de 38,2893% correspondiente al mes de mayo con un tiempo de operación de 120 horas
- Se puede identificar en la gráfica de fiabilidad (Figura 4.10), un valor mínimo de fiabilidad de 27,5271% correspondiente al mes de noviembre con un tiempo de operación de 645 horas
- Con referencia a la línea de tendencia en la gráfica de fiabilidad (Figura 4.10), se puede decir que la tina de vacío se encuentra en la zona de falla infantil en la curva de Davis (curva de la bañera)

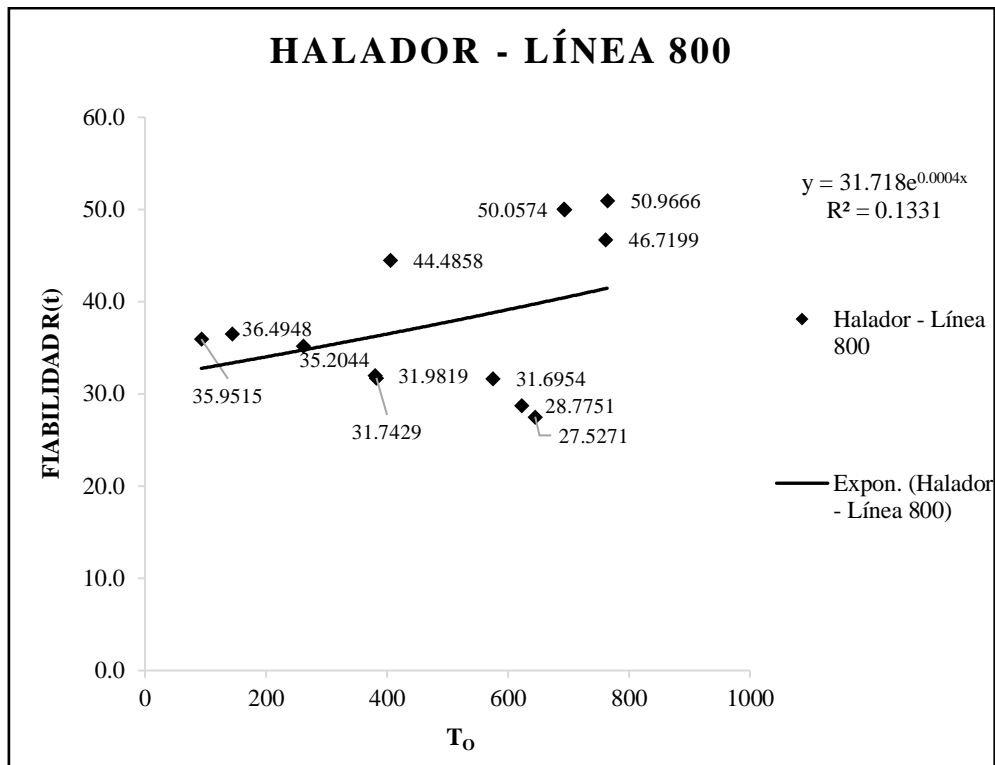


Fig. 4. 11. Fiabilidad Halador línea de extrusión 800
Fuente: Autor

Conclusiones:

- Se puede identificar en la gráfica de fiabilidad (Figura 4.11), un valor máximo de fiabilidad de 50,9666% correspondiente al mes de diciembre de 2017 con un tiempo de operación de 764 horas
- Se puede identificar en la gráfica de fiabilidad (Figura 4.11), un valor mínimo de fiabilidad de 27,5271% correspondiente al mes de agosto de 2017 con un tiempo de operación de 645 horas
- Con referencia a la línea de tendencia en la gráfica de fiabilidad (Figura 4.11), se puede decir que el halador se encuentra iniciando la zona de falla por desgaste en la curva de Davis (curva de la bañera)

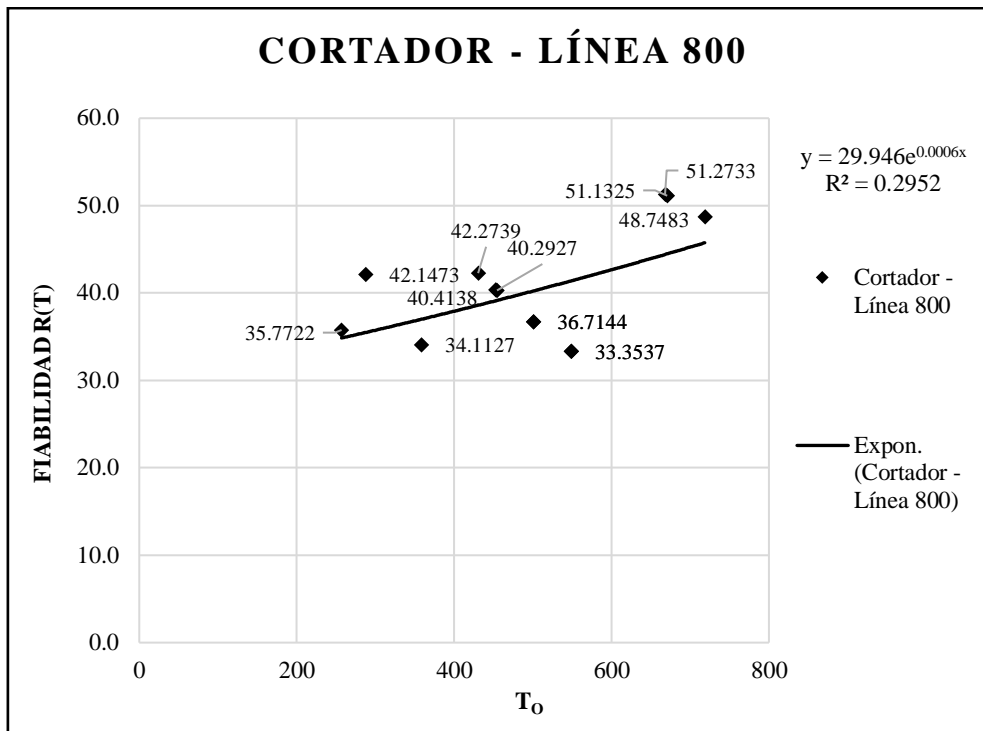


Fig. 4. 12. Fiabilidad Cortador línea de extrusión 800
Fuente: Autor

Conclusiones:

- Se puede identificar en la gráfica de fiabilidad (Figura 4.12), un valor máximo de fiabilidad de 51,2733% correspondiente al mes de noviembre de 2017 con un tiempo de operación de 668 horas
- Se puede identificar en la gráfica de fiabilidad (Figura 4.12), un valor mínimo de fiabilidad de 33,3537% correspondiente a los meses de julio y agosto de 2017 con un tiempo de operación de 549 horas
- Con referencia a la línea de tendencia en la gráfica de fiabilidad (Figura 4.12), se puede decir que la máquina cortadora se encuentra iniciando la zona de falla por desgaste en la curva de Davis (curva de la bañera)

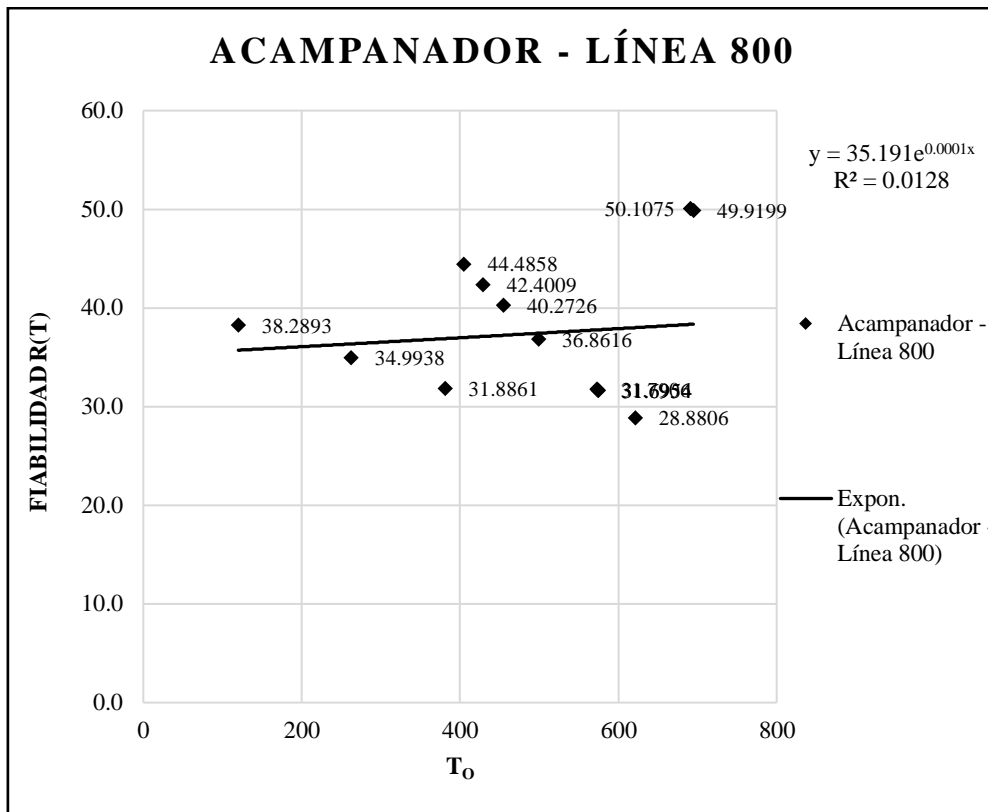


Fig. 4. 13. Fiabilidad Acampanador línea de extrusión 800
Fuente: Autor

Conclusiones:

- Se puede identificar en la gráfica de fiabilidad (Figura 4.13), un valor máximo de fiabilidad de 50,1075% correspondiente al mes de marzo de 2018 con un tiempo de operación de 691 horas
- Se puede identificar en la gráfica de fiabilidad (Figura 4.13), un valor mínimo de fiabilidad de 28,8806% correspondiente al mes de octubre de 2017 con un tiempo de operación de 621 horas
- Con referencia a la línea de tendencia en la gráfica de fiabilidad (Figura 4.13), se puede decir que el acampanador se encuentra iniciando la zona de falla por desgaste en la curva de Davis (curva de la bañera)

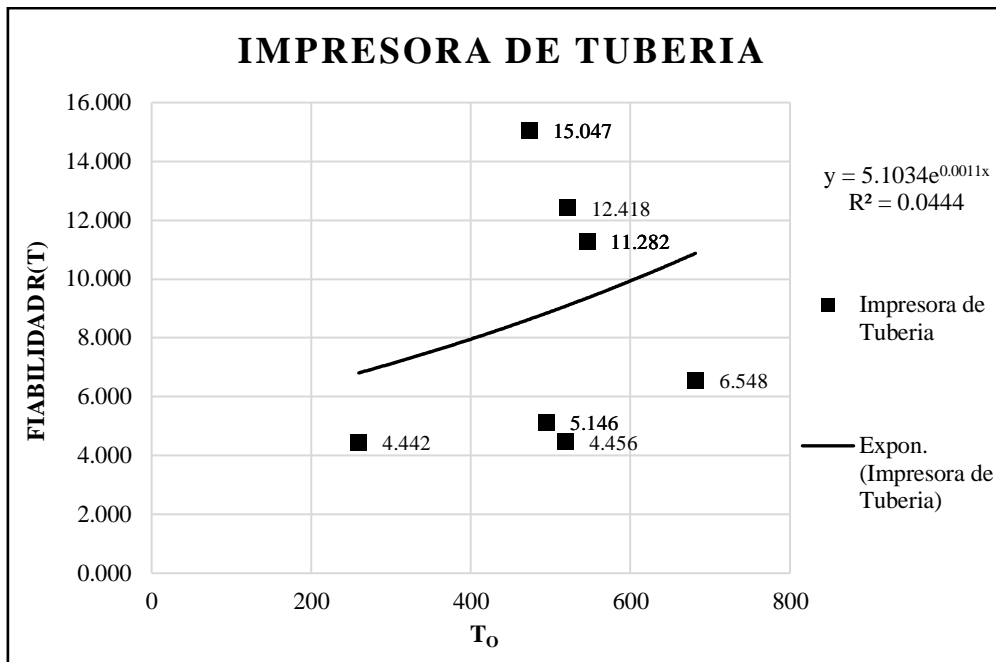


Fig. 4. 14. Fiabilidad Impresora de Tubería
Fuente: Autor

Conclusiones:

- Se puede identificar en la gráfica de fiabilidad (Figura 4.14), un valor máximo de fiabilidad de 15,047% correspondiente al mes de octubre de 2017 y enero 2018 con un tiempo de operación de 236,75 horas
- Se puede identificar en la gráfica de fiabilidad (Figura 4.14), un valor mínimo de fiabilidad de 4,442% correspondiente al mes de mayo de 2017 con un tiempo de operación de 86,5 horas
- Con referencia a la línea de tendencia en la gráfica de fiabilidad (Figura 4.14), se puede decir que la máquina impresora tiene tendencia a la zona de falla por desgaste en la curva de Davis (curva de la bañera)

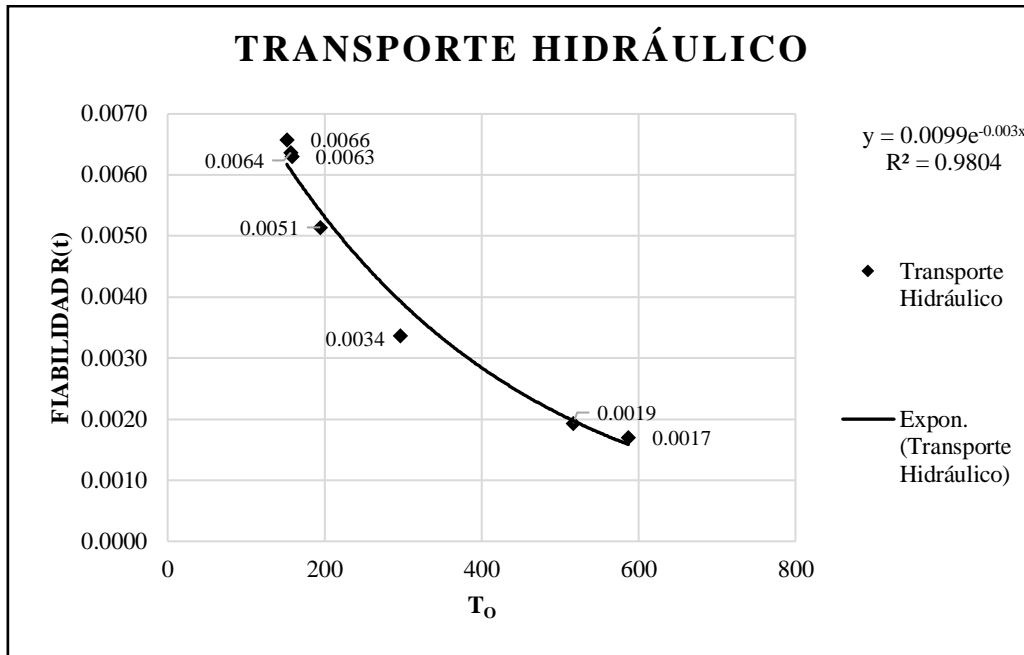




Fig. 4. 15. Fiabilidad Transporte Hidráulico
Fuente: Autor

Conclusiones:

- Se puede identificar en la gráfica de fiabilidad (Figura 4.15), un valor máximo de fiabilidad de 41,025% correspondiente al mes de mayo de 2018 con un tiempo de operación de 297 horas
- Se puede identificar en la gráfica de fiabilidad (Figura 4.15), un valor mínimo de fiabilidad de 30,913% correspondiente al mes de marzo de 2018 con un tiempo de operación de 587 horas
- Con referencia a la línea de tendencia en la gráfica de fiabilidad (Figura 4.15), se puede decir que el transporte hidráulico tiene tendencia a la zona de falla por desgaste en la curva de Davis (curva de la bañera)



4.5. Análisis modal de falla-efecto de las máquinas y equipos el área de extrusión de la empresa Holviplas S.A.

Tabla 4. 30. Análisis Modal de Fallos de Tableros de control

| HOLVIPLAS S. A | | ANÁLISIS AMFE PARA MAQUINARIA DE LA EMPRESA HOLVIPLAS S. A | | | | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | | | |
|---|-----------------------|---|--|---|--|---|---|---|-----|--|
|  | | Elaborado por: | Ing. Luis Agualongo | Revisado por: | Ing. Christian Castro |  | | | | |
| | | Máquina: | En general | Aprobado por: | Ing. Christian Castro | | | | | |
| | | Sistema: | TABLEROS | Fecha de elaboración: | 22/05/2019 | | | | | |
| | | Subsistema: | Tablero de sub-distribución | Fecha de Revisión: | 10/7/2019 | | | | | |
| | | N° Página: | 1 | De: | 2 | | | | | |
| CÓDIGO | COMPONENTE | FUNCIÓN | MODO DE FALLO | CAUSA DE FALLO | EFEECTO DE FALLO | G | F | D | NPR | RECOMENDACIÓN |
| H800.1.1.1 | Circuitos eléctricos | Controlar los procesos industriales | Operación incorrecta | Suciedad | Parada | 5 | 3 | 3 | 45 | Inspeccionar conexiones |
| H800.1.1.2 | Cables | Transmitir electricidad por todo el circuito. | Cables en mal estado | Obsolencia | Parada, posible corto circuito | 8 | 4 | 3 | 96 | Inspeccionar, Cambiar cables en mal estado |
| H800.1.1.3 | Contactador eléctrico | Permitir el paso o no de la corriente eléctrica a través de los circuitos eléctricos a partir de una señal de voltaje aplicado a su bobina. | No enclava | Tensión fuera de rango, desgaste de pastillas interiores, Suciedad en el tablero. | No cierra ni abre circuitos. | 6 | 3 | 3 | 54 | Limpiar los contactos, reemplazar de ser necesario |
| H800.1.1.4 | Relé de Mando | Actuar ante alguna variación de magnitud física o eléctrica y así determinar el funcionamiento de otro dispositivo. | Sobrecarga, Cortocircuito, Falla de aislación. | Exceso de consumo en la instalación eléctrica, Envejecimiento de las aislaciones. | Calentamiento excesivo en los conductores, Destrucción de la aislación, Conductores eléctricos pueden fundirse | 6 | 3 | 1 | 18 | Revisar que el relé este dando la señal adecuada. |
| H800.1.1.5 | Relé de Térmico | Proteger los motores contra las sobrecargas débiles y prolongadas. | No protege al motor | Amperaje fuera de rango, desgastado | Daño del motor | 6 | 3 | 2 | 36 | Inspeccionar conexiones, desactivar térmico |

| | | | | | | | | | | |
|--|------------------------|---|--|---|--|---|---|---|-----------|---|
| H800.1.1.6 | Guarda Motor | Desconectar el paso de energía eléctrica en caso de una sobrecarga. | Sobrecargas, Cortocircuitos, Contactos pegados | Acumulación de polvo y suciedad, vibración excesivas | El límite de temperatura del motor es sobrepasado. | 6 | 3 | 1 | 18 | Realizar un mantenimiento preventivo adecuado |
| H800.1.1.7 | Fusible | Interrumpir el paso de energía eléctrica al circuito ante algún cortocircuito dentro del mismo. | Fundido o quemado | Aumento temporal de la electricidad | Paralización por ausencia de energía eléctrica | 4 | 1 | 3 | 9 | Verificar que el voltaje sea el adecuado. |
| H800.1.1.8 | Relé de potencia | Soportar la corriente del circuito eléctrico en el que se insertan; y también puede cortar el circuito eléctrico que este bajo carga | Sobrecarga, Cortocircuito, Falla de aislación. | Exceso de consumo en la instalación eléctrica, Envejecimiento de las aislaciones. | Calentamiento excesivo en los conductores, Destrucción de la aislación, Conductores eléctricos pueden fundirse | 6 | 3 | 1 | 18 | Revisar que el relé este dando la señal adecuada. |
| H800.1.1.9 | Líneas de alimentación | Proveer corriente a la máquina | Sobrecargas, Cortocircuitos | Alta o baja tensión de la energía suministrada en forma permanente. | No hay alimentación de corriente al sistema eléctrico. | 3 | 1 | 3 | 9 | Limpiar conexiones reemplazar si en necesario |
| H800.1.1.10 | Breakers | Interrumpir el paso de corriente eléctrica si se sobrepasa el valor nominal de este en caso de fallas como sobrecarga o corto circuito. | Fusibles quemados, estructura rota. | Corriente de sobrecarga, Cortocircuito, Recalentamiento | No hay paso de corriente, Daño del breiker permanente. | 6 | 3 | 1 | 18 | Limpiar conexiones reemplazar si en necesario |
| H800.1.1.11 | Temporizador | Regular la conexión o desconexión de un circuito eléctrico controlando el tiempo de ejecución. | No energiza la bobina del temporizador | Ruptura de los pines del temporizador, daño de la bobina. | No abre ni cierra los contactos del temporizador. | 3 | 1 | 1 | 3 | Evitar aglomeramiento de cables en la caja de control |
| Punto crítico o Valor medio | | | | | | | | | 29 | |
| Observaciones: El número de prioridad de riesgos (NPR) crítico será determinado con el promedio de todos los NPR de los diferentes componentes lo cual permitirá priorizar las acciones a tomar. En este caso los elementos con NPR ≥ 29 son los resaltados de color rojo. | | | | | | | | | | |

Tabla 4. 31. Análisis Modal de Fallos de la Extrusora

| HOLVIPLAS S. A | | ANÁLISIS AMFE PARA MAQUINARIA DE LA EMPRESA HOLVIPLAS S. A | | | | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | | | |
|---|---------------------|--|--|--|---|---|---|---|------------|--|
|  | | Elaborado por: | Ing. Luis Agualongo | Revisado por: | Ing. Christian Castro |  | | | | |
| | | Máquina: | En general | Aprobado por: | Ing. Christian Castro | | | | | |
| | | Sistema: | Extrusora | Fecha de elaboración: | 22/05/2019 | | | | | |
| | | Subsistema: | Sistema motriz y de Transmisión | Fecha de Revisión: | 10/7/2019 | | | | | |
| | | Nº página: | 1 | De: | 5 | | | | | |
| CÓDIGO | COMPONENTE | FUNCIÓN | MODO DE FALLO | CAUSA DE FALLO | EFECTO DE FALLO | G | F | D | NPR | RECOMENDACIÓN |
| H800.2.1.1 | Motor Principal | Proporcionar la fuerza de movimiento necesaria para mover el tornillo extrusor | Fuga | Rotura de elementos del motor | Parada del extrusora | 5 | 4 | 4 | 80 | Revisar del funcionamiento del motor, rebobinar de ser necesario |
| H800.2.1.2 | Motor Ventilador | Impulsa directamente el ventilador para producir aire de refrigeración. | No acciona el ventilador | Error de mantenimiento | Parada del ventilador | 7 | 4 | 3 | 84 | Inspeccionar el ventilador |
| H800.2.1.3 | Caja de Transmisión | Reducir el número de revoluciones del motor | Fractura | Desgaste de piñones por sobrecarga | Perdida de tracción | 7 | 6 | 5 | 210 | Limpiar de la caja Revisar estado de piñones, Cambiar de piñones si es necesario |
| H800.2.1.4 | Caja Reductora | Controlar la velocidad del husillo | Funcionamiento defectuoso, ruidos extraños | Piñones deteriorados, desgastados rotos, acumulación de partículas de polvo u otros contaminantes en el aceite | Incremento de ruido, vibraciones externas | 6 | 5 | 6 | 180 | Revisar de nivel, Cambiar aceite de caja reductora |
| H800.2.1.5 | Bandas | Transmitir movimiento del motor hacia el husillo | Desgaste | Rotura por falta de calibración | Parada de la máquina | 8 | 6 | 4 | 192 | Revisar el estado de bandas, Cambiar de ser necesario |
| H800.2.1.6 | Rodamientos | Reducir la fricción entre un eje y las piezas conectadas a éste | Aumento de temperatura, vibración y ruido excesivo | Falta de lubricación, Instalación incorrecta, Contacto indebido con las partes giratorias | Pérdida de movimiento. | 7 | 7 | 4 | 196 | Revisar y lubricación de rodamientos |
| H800.2.1.7 | Piñón de ataque | Recibir el movimiento directo de la caja reductora | Ruidos extraños | Baja lubricación en superficies de contacto | Dientes piñón desgastados | 6 | 4 | 2 | 48 | Cambiar, rectificar el piño de ataque |
| H800.2.1.8 | Rueda dentada | Recibir el movimiento del piñón de ataque | Ruidos extraños | Baja lubricación en superficies de contacto | Dientes rueda dentada desgastados | 6 | 4 | 2 | 48 | Limpiar y lubricar superficies de contacto |
| Punto crítico o Valor medio | | | | | | | | | 129 | |
| <p>Observaciones: El número de prioridad de riesgos (NPR) crítico será determinado con el promedio de todos los NPR de los diferentes componentes lo cual permitirá priorizar las acciones a tomar. En este caso los elementos con NPR ≥ 129 son los resaltados de color rojo.</p> | | | | | | | | | | |



| SUBSISTEMA: Transporte de material | | | | | | | | | | |
|--|------------|---|--|---|--|---|---|---|-----------|---|
| CÓDIGO | COMPONENTE | FUNCIÓN | MODO DE FALLO | CAUSA DE FALLO | EFEECTO DE FALLO | G | F | D | NPR | RECOMENDACIÓN |
| H800.2.2.1 | Husillo | Transportar, calentar, fundir y mezclar el material | Husillo de transporte no gira | Banda de transmisión floja, rota | Motor no transmite movimiento | 6 | 4 | 4 | 96 | Tensar, cambiar banda de ser necesario |
| | | | Ruidos extraños en el eje del motor | Cojinetes dañados | Fricción, descentración del eje | 6 | 4 | 1 | 24 | Cambiar de cojinetes |
| | | | Husillo de transporte no gira | Cables sueltos, oxidación en las uniones | No envía señales a los contactores | 5 | 3 | 2 | 30 | Limpiar conexiones reemplazar si es necesario |
| H800.2.2.2 | Cilindro | Permitir que el material fluya a lo largo de la extrusora | Sobre calentamiento de la superficie de la máquina | No hay ventilación en el cilindro | Calentamiento de materia prima antes de llegar al cilindro | 6 | 4 | 3 | 72 | Implementar un sistema de enfriamiento |
| | | | Sobre calentamiento de la superficie de la máquina | Boquillas y filtros tapados | Acumulación de materia prima | 6 | 4 | 2 | 48 | Limpiar de filtros y boquillas |
| | | | Sobre calentamiento de la superficie de la máquina | Acumulación de grasa en las paredes del sistema | Deterioro progresivo del husillo por fricción | 5 | 4 | 4 | 48 | Limpiar de área interna de trabajo |
| Punto crítico o Valor medio | | | | | | | | | 58 | |
| Observaciones: El número de prioridad de riesgos (NPR) crítico será determinado con el promedio de todos los NPR de los diferentes componentes lo cual permitirá priorizar las acciones a tomar. En este caso los elementos con $NPR \geq 58$ son los resaltados de color rojo. | | | | | | | | | | |

| SUBSISTEMA: Control Temperatura del Barril | | | | | | | | | | |
|--|--------------|--|--|--|--------------------------------------|---|---|---|-----------|--|
| CÓDIGO | COMPONENTE | FUNCIÓN | MODO DE FALLO | CAUSA DE FALLO | EFECTO DE FALLO | G | F | D | NPR | RECOMENDACIÓN |
| H800.2.3.1 | Bomba | Transformar una energía eléctrica en energía mecánica. | Fuga | Calor excesivo por falta de líquido refrigerante | Perdida de líquido de enfriamiento | 6 | 4 | 4 | 96 | Revisar general del estado de la bomba |
| H800.2.3.2 | Cañerías | Transportar el refrigerante por el sistema. | Taponamiento | Acumulación de partículas | Aumento de temperatura en el sistema | 4 | 1 | 4 | 16 | Revisar las conexiones que se encuentren en buen estado. |
| H800.2.3.3 | Barril | Transmitir el calor de las resistencias al polímero | Sobre calentamiento de la superficie de la máquina | Boquillas y filtros tapados | Acumulación de materia prima | 5 | 3 | 3 | 45 | Limpiar de filtros y boquillas |
| H800.2.3.4 | Resistencias | Transformar energía eléctrica en calor | Calentamiento deficiente | Niquelinas deterioradas | No genera calor | 5 | 3 | 1 | 15 | Evaluar el estado de las resistencias |
| H800.2.3.5 | Termocuplas | Medir la temperatura, enviar una señal al sistema de control digital | No marca la temperatura interna | Termocuplas averiadas | Aumento, disminución de temperatura | 3 | 3 | 1 | 9 | Revisar el estado Cambiar de ser necesario |
| Punto crítico o Valor medio | | | | | | | | | 36 | |
| <p>Observaciones: El número de prioridad de riesgos (NPR) crítico será determinado con el promedio de todos los NPR de los diferentes componentes lo cual permitirá priorizar las acciones a tomar. En este caso los elementos con $NPR \geq 36$ son los resaltados de color rojo.</p> | | | | | | | | | | |

| SUBSISTEMA: Sistema de extruido | | | | | | | | | | |
|--|--------------|---|--|---|---------------------------------------|---|---|---|-----------|--|
| CÓDIGO | COMPONENTE | FUNCIÓN | MODO DE FALLO | CAUSA DE FALLO | EFECTO DE FALLO | G | F | D | NPR | RECOMENDACIÓN |
| H800.2.4.1 | Araña | Cortar el material que viene directo del cono | Desgaste | Incrustaciones de material | Paro de la maquina | 6 | 5 | 3 | 90 | Revisar, Cambiar la araña de ser necesario |
| H800.2.4.2 | Resistencias | Transformar energía eléctrica en calor | Calentamiento deficiente | Niquelinas deterioradas | No genera calor | 5 | 3 | 2 | 30 | Revisar el estado de las resistencias |
| H800.2.4.3 | Termocuplas | Medir la temperatura, enviar una señal al sistema de control digital | No marca la temperatura interna | Termocuplas averiadas | Aumento, disminución de temperatura | 3 | 3 | 1 | 9 | Cambiar la termocupla |
| H800.2.4.4 | Filtro | Retener posibles impurezas, también tienen la función de aumentar la presión, para que el material fluya con mayor facilidad a las boquillas de extrusión | Exceso de impurezas | Saturación del filtro, Cumplimiento de vida útil. | Entrada de aire contaminado al equipo | 6 | 3 | 1 | 18 | Limpiar el filtro, cambiar de ser necesario |
| H800.2.4.5 | Boquillas | Dar la forma final a la tubería | Sobre calentamiento de la superficie de la máquina | Boquillas tapadas | Acumulación de materia prima | 6 | 4 | 2 | 48 | Limpiar de boquillas |
| H800.2.4.6 | Cabezal | Controlar que el flujo de material sea uniforme hacia la boquilla | Fractura, fisuras. | Falla del material, Sobrecarga | Disminución de rigidez de la máquina. | 5 | 3 | 3 | 45 | Revisar la fisura y que el flujo de material se adecuado |
| Punto crítico o Valor medio | | | | | | | | | 40 | |
| Observaciones: El número de prioridad de riesgos (NPR) crítico será determinado con el promedio de todos los NPR de los diferentes componentes lo cual permitirá priorizar las acciones a tomar. En este caso los elementos con $NPR \geq 40$ son los resaltados de color rojo. | | | | | | | | | | |

| SUBSISTEMA: Eléctrico | | | | | | | | | | |
|--|------------------------|--|-------------------------------------|---|--|---|---|---|-----------|---|
| CÓDIGO | COMPONENTE | FUNCIÓN | MODO DE FALLO | CAUSA DE FALLO | EFECTO DE FALLO | G | F | D | NPR | RECOMENDACIÓN |
| H800.2.5.1 | Cables | Transmitir electricidad por todo el circuito. | Rotura | Desgaste natural por el uso del mismo | Paro en el proceso | 5 | 5 | 3 | 75 | Cambiar cables en mal estado |
| H800.2.5.2 | Contactador eléctrico | Permitir el paso o no de la corriente eléctrica a través de los circuitos eléctricos a partir de una señal de voltaje aplicado a su bobina. | No enclava | Tensión fuera de rango, desgaste de pastillas interiores, Suciedad en el tablero. | No cierra ni abre circuitos. | 6 | 3 | 1 | 18 | Limpiar los contactos, reemplazar de ser necesario |
| H800.2.5.3 | Relé de Térmico | Proteger los motores contra las sobrecargas débiles y prolongadas. | No protege al motor | Amperaje fuera de rango, desgastado | Daño del motor | 6 | 3 | 1 | 18 | Inspeccionar conexiones, desactivar térmico |
| H800.2.5.4 | Fusible | Interrumpir el paso de energía eléctrica al circuito ante algún cortocircuito dentro del mismo. | Fundido o quemado | Aumento temporal de la electricidad | Paralización por ausencia de energía eléctrica | 3 | 1 | 3 | 9 | Verificar que el voltaje sea el adecuado. |
| H800.2.5.5 | Líneas de alimentación | Proveer corriente a la máquina | Sobrecargas, Cortocircuitos | Alta o baja tensión de la energía suministrada en forma permanente. | No hay alimentación de corriente al sistema eléctrico. | 3 | 1 | 3 | 9 | Limpiar conexiones reemplazar si es necesario |
| H800.2.5.6 | Breakers | Interrumpir el paso de corriente eléctrica si se sobrepasa el valor nominal de este en caso de fallas como sobrecarga o corto circuito. | Fusibles quemados, estructura rota. | Corriente de sobrecarga, Cortocircuito, Recalentamiento | No hay paso de corriente, Daño del breiker permanente. | 6 | 3 | 1 | 18 | Limpiar conexiones reemplazar si es necesario |
| H800.2.5.7 | Variador de frecuencia | Controlar la velocidad rotacional del motor de corriente alterna por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor. | No enciende | Cables sueltos, breacks de seguridad enclavado | No enciende la máquina | 4 | 3 | 3 | 36 | Inspeccionar, cambiar cableado |
| | | | No transmite las ordenes de trabajo | Alambres de conexión flojos | No enciende la máquina | 3 | 3 | 4 | 36 | Inspeccionar, cambiar cableado |
| | | | No transmite las ordenes de trabajo | Conexiones equivocadas | El motor no cumple con las ordenes emitidas | 3 | 3 | 4 | 36 | Verificar que las velocidades no se hayan distorsionado |
| H800.2.5.8 | Botones | Comandar circuitos de control para la activación del motor | No envían la señal | Contactos sueltos, oxidados | No enciende las máquinas | 4 | 3 | 3 | 36 | Limpiar Cambiar de terminales, cables o pulsador |
| Punto crítico o Valor medio | | | | | | | | | 29 | |
| <p>Observaciones: El número de prioridad de riesgos (NPR) crítico será determinado con el promedio de todos los NPR de los diferentes componentes lo cual permitirá priorizar las acciones a tomar. En este caso los elementos con $NPR \geq 29$ son los resaltados de color rojo.</p> | | | | | | | | | | |



Tabla 4. 32. Análisis Modal de Fallos de la Tina de Vacío

| HOLVIPLAS S. A | | ANÁLISIS AMFE PARA MAQUINARIA DE LA EMPRESA HOLVIPLAS S. A | | | | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | | | |
|--|----------------------|--|-----------------------------------|--|--|---|---|---|-----------|--|
|  | | Elaborado por: | Ing. Luis Agualongo | Revisado por: | Ing. Christian Castro |  | | | | |
| | | Máquina: | En general | Aprobado por: | Ing. Christian Castro | | | | | |
| | | Sistema: | Tina de Vacío | Fecha de elaboración: | 22/05/2019 | | | | | |
| | | Subsistema: | Sistema de Vacío | Fecha de Revisión: | 10/7/2019 | | | | | |
| | | N° página: | 1 | De: | 3 | | | | | |
| CÓDIGO | COMPONENTE | FUNCIÓN | MODO DE FALLO | CAUSA DE FALLO | EFECTO DE FALLO | G | F | D | NPR | RECOMENDACIÓN |
| H800.3.1.1 | Motor | Transformar una energía eléctrica en energía mecánica | Desgaste de rodamientos | Presencia y acumulación de partículas contaminantes. | Ruidos y movimiento inapropiado. | 7 | 5 | 6 | 210 | Revisar el motor Cambiar de rodamientos si es necesario |
| H800.3.1.2 | Bomba | Recircula el agua utilizada, reduciendo el consumo de agua | Empaques deteriorados | Mala instalación. | Exceso de Humedad y aire. | 8 | 2 | 2 | 32 | Revisar la bomba Cambiar de empaques |
| H800.3.1.3 | Cañerías | Transportar el refrigerante por el sistema. | Taponamiento | Acumulación de partículas | Aumento de temperatura y caudal inadecuado en el sistema | 4 | 1 | 4 | 16 | Revisar las conexiones Cambiar de ser necesario |
| H800.3.1.4 | Tanque de Presión | Almacenar agua | Mescla excesiva de agua y aceite. | Absorción de cantidades grandes de agua sin el drenaje correspondiente | La presión de aceite subirá excesivamente. | 7 | 5 | 8 | 280 | Revisar la presión Drenar el agua luego de cada uso |
| H800.3.1.5 | Filtro | Evitar el acceso y la acumulación de polvo. | Obstrucción. | Falta de Limpiar por aire | Sobrecalentamiento del motor. | 9 | 5 | 2 | 90 | Limpiar, Cambiar filtros |
| H800.3.1.6 | Manómetro | Controlar la presión existente en un circuito | Lectura incorrecta. | Mangueras o válvulas en mal estado. | Poca o excesiva generación de vacío | 3 | 2 | 4 | 24 | Revisar y Verificar el manómetro |
| H800.3.1.7 | Pernos de nivelación | Regular el nivel de la tina | Desgaste | Oxidación | Aislamiento de pernos, no hay nivelación de tina | 5 | 3 | 2 | 30 | Revisar Lubricar de pernos |
| H800.3.1.8 | Rociadores | Conducir el agua hacia la tina | Fugas | Rotura | No llega agua hacia la tina | 5 | 3 | 1 | 15 | Revisar que no existan fugas Cambiar de ser necesario |
| Punto crítico o Valor medio | | | | | | | | | 87 | |
| Observaciones: El número de prioridad de riesgos (NPR) crítico será determinado con el promedio de todos los NPR de los diferentes componentes lo cual permitirá priorizar las acciones a tomar. En este caso los elementos con $NPR \geq 87$ son los resaltados de color rojo. | | | | | | | | | | |

| SUBSISTEMA: De Enfriamiento | | | | | | | | | | |
|--|-----------------|---|-----------------------------------|-------------------------------|--|---|---|---|-----------|---|
| CÓDIGO | COMPONENTE | FUNCIÓN | MODO DE FALLO | CAUSA DE FALLO | EFECTO DE FALLO | G | F | D | NPR | RECOMENDACIÓN |
| H800.3.2.1 | Motor | Transformar una energía eléctrica en energía mecánica | Desgaste de rodamientos | Rotura de elementos del motor | Parada de la tina | 5 | 4 | 4 | 80 | Revisar el motor Cambiar de rodamientos si es necesario |
| H800.3.2.2 | Bomba | Transportar el líquido lubricante por el sistema. | Empaques deteriorados | No encendido de la máquina | Avería de la bomba | 6 | 4 | 4 | 96 | Revisar de la bomba Cambiar de empaques |
| H800.3.2.3 | Electroválvulas | Controlan el flujo del fluido mediante impulsos eléctricos. | Fundición de sus microcomponentes | Sobrecarga eléctrica | Malfuncionamiento de los componentes que controla | 7 | 4 | 1 | 28 | Revisar de la electroválvula Cambiar de ser necesario |
| H800.3.2.4 | Tuberías | Transportar el refrigerante por el sistema. | Taponamiento | Acumulación de partículas | Aumento de temperatura y caudal inadecuado en el sistema | 4 | 1 | 4 | 16 | Limpiar, Revisar las conexiones Cambiar de ser necesario |
| Punto crítico o Valor medio | | | | | | | | | 55 | |
| <p>Observaciones: El número de prioridad de riesgos (NPR) crítico será determinado con el promedio de todos los NPR de los diferentes componentes lo cual permitirá priorizar las acciones a tomar. En este caso los elementos con $NPR \geq 55$ son los resaltados de color rojo.</p> | | | | | | | | | | |

| SUBSISTEMA: Eléctrico | | | | | | | | | | |
|--|------------------------|--|-------------------------------------|---|--|---|---|---|-----------|---|
| CÓDIGO | COMPONENTE | FUNCIÓN | MODO DE FALLO | CAUSA DE FALLO | EFECTO DE FALLO | G | F | D | NPR | RECOMENDACIÓN |
| H800.3.3.1 | Cables | Transmitir electricidad por todo el circuito. | Rotura | Rotura parcial o total del cable | Descarga eléctrica | 6 | 5 | 3 | 90 | Revisar , Cambiar de cables en mal estado |
| H800.3.3.2 | Contactador eléctrico | Permitir el paso o no de la corriente eléctrica a través de los circuitos eléctricos a partir de una señal de voltaje aplicado a su bobina. | No enclava | Tensión fuera de rango, desgaste de pastillas interiores, Suciedad en el tablero. | No cierra ni abre circuitos. | 5 | 3 | 2 | 30 | Revisar el nivel de tensión |
| H800.3.3.3 | Relé de Térmico | Proteger los motores contra las sobrecargas débiles y prolongadas. | No protege al motor | Tornillos flojos, alambres de conexión sueltos, contactos oxidados | Daño del motor | 5 | 3 | 1 | 15 | Revisar , ajuste y/o Cambiar de conexiones eléctricas |
| H800.3.3.4 | Fusible | Interrumpir el paso de energía eléctrica al circuito ante algún cortocircuito dentro del mismo. | Fundido o quemado | Aumento temporal de la electricidad | Paralización por ausencia de energía eléctrica | 3 | 2 | 3 | 18 | Revisar de voltaje y amperaje |
| H800.3.3.5 | Líneas de alimentación | Proveer corriente a la máquina | Sobrecargas, Cortocircuitos | Alta o baja tensión de la energía suministrada en forma permanente. | No hay alimentación de corriente al sistema eléctrico. | 3 | 1 | 3 | 9 | Limpiar conexiones reemplazar si en necesario |
| H800.3.3.6 | Breakers | Protección eléctrica diseñada para interrumpir el paso de corriente eléctrica si se sobrepasa el valor nominal de este en caso de fallas como sobrecarga o corto circuito. | Fusibles quemados, estructura rota. | Corriente de sobrecarga, Cortocircuito, Recalentamiento | No hay paso de corriente, Daño del breiker permanente. | 6 | 3 | 2 | 36 | Limpiar conexiones reemplazar si en necesario |
| Punto crítico o Valor medio | | | | | | | | | 33 | |
| Observaciones: El número de prioridad de riesgos (NPR) crítico será determinado con el promedio de todos los NPR de los diferentes componentes lo cual permitirá priorizar las acciones a tomar. En este caso los elementos con $NPR \geq 33$ son los resaltados de color rojo. | | | | | | | | | | |



Tabla 4. 33. Análisis Modal de Fallos del Halador

| HOLVIPLAS S. A | | ANÁLISIS AMFE PARA MAQUINARIA DE LA EMPRESA HOLVIPLAS S. A | | | | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | | | |
|--|---------------------|---|--|---|---|---|---|---|-----------|--|
|  | | Elaborado por: | Ing. Luis Agualongo | Revisado por: | Ing. Christian Castro |  | | | | |
| | | Máquina: | En general | Aprobado por: | Ing. Christian Castro | | | | | |
| | | Sistema: | Halador | Fecha de elaboración: | 22/05/2019 | | | | | |
| | | Subsistema: | Sistema de Transmisión | Fecha de Revisión: | 10/7/2019 | | | | | |
| | | N° Página: | 1 | De: | 3 | | | | | |
| CÓDIGO | COMPONENTE | FUNCIÓN | MODO DE FALLO | CAUSA DE FALLO | EFECTO DE FALLO | G | F | D | NPR | RECOMENDACIÓN |
| H800.4.1.1 | Motor | Transformar una energía eléctrica en energía mecánica | No hay paso de corriente | Bornes del motor flojos | Paro de actividades | 4 | 2 | 7 | 56 | Ajustar bornes del motor |
| H800.4.1.2 | Bandas | Transmitir movimiento entre dos elementos | Desgaste | Rotura de las bandas | Parada de la máquina | 8 | 6 | 4 | 192 | Revisar el estado de bandas, Cambiar de ser necesario |
| H800.4.1.3 | Caja Reductora | Reduce la velocidad de giro del receptor | Fractura | Sobrecarga | Perdida de tracción | 6 | 5 | 6 | 180 | Revisar el estado de funcionamiento |
| H800.4.1.4 | Caja de Transmisión | Reducir el número de revoluciones del motor | Fugas | Pérdida de lubricante | Fisura o defecto de fundición en la carcasa de la caja | 7 | 6 | 5 | 210 | Revisar el nivel de aceite Cambiar el aceite |
| H800.4.1.5 | Orugas | Permitir el desplazamiento de la tubería | Orugas flojas | Incorrecta deflexión | Deterioro prematuro de las orugas | 6 | 6 | 3 | 108 | Controlar y regular la tensión de orugas |
| H800.4.1.6 | Cadenas | Transmitir movimiento que le provee el piñón. | Cadena de transmisión floja | Templador de cadena mal calibrado | Cadena de transmisión se sale de su sitio | 4 | 3 | 2 | 24 | Ajustar, templar el templador de la cadena |
| H800.4.1.7 | Piñón | Transmitir movimiento giratorio a la cadena. | Ruidos extraños | Baja lubricación en superficies de contacto | Dientes piñón, rueda dentada desgastados | 6 | 4 | 2 | 48 | Limpiar y lubricar superficies de contacto |
| H800.4.1.8 | Rodillos | Facilitar el traslado de las orugas | Desgaste | Fricción natural entre los rodillos | Presencia de aceite, grasa y partículas que pueden desgastar los rodillos | 6 | 3 | 1 | 18 | Limpiar y lubricación del rodamiento |
| H800.4.1.9 | Rodamiento | Reducir la fricción entre un eje y las piezas conectadas a éste. | Rotura, Ruido, Aumento de temperatura, vibración excesiva. | Falta de lubricación, Instalación incorrecta, Contacto indebido con las partes giratorias | Pérdida de movimiento. | 6 | 3 | 3 | 54 | Lubricar periódicamente |
| H800.4.1.10 | Eje | Girar con facilidad y mantener en posición horizontal y firme a los rodillos. | Rotura del Eje | Mala calidad del material | Pérdida de velocidad | 3 | 1 | 1 | 3 | Seleccionar un material adecuado para la fabricación del eje |
| Punto crítico o Valor medio | | | | | | | | | 89 | |
| Observaciones: El número de prioridad de riesgos (NPR) crítico será determinado con el promedio de todos los NPR de los diferentes componentes lo cual permitirá priorizar las acciones a tomar. En este caso los elementos con $NPR \geq 89$ son los resaltados de color rojo. | | | | | | | | | | |

| SUBSISTEMA: Hidráulico | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|--|--|---|---|---|---|---|-----------|--|
| CÓDIGO | COMPONENTE | FUNCIÓN | MODO DE FALLO | CAUSA DE FALLO | EFECTO DE FALLO | G | F | D | NPR | RECOMENDACIÓN |
| H800.4.2.1 | Motor | Transformar una energía eléctrica en energía mecánica. | Sobrecalentamiento del motor | Falta de ventilación, Sobrecarga | Incremento de temperatura, Disminuye la velocidad, potencia, rendimiento. | 3 | 3 | 3 | 27 | Limpia Revisar el estado del ventilador Comprobar funcionamiento |
| H800.4.2.2 | Bomba Hidráulica | Impulsar el aceite al sistema hidráulico | Rotura de ejes y dientes de engranajes, Desgaste prematuro de la bomba | Válvula limitadora de presión en mal estado, sobrecarga, filtro obstruido. | No existe bombeo de aceite, bajo rendimiento | 3 | 3 | 1 | 9 | Revisar, Reemplazar componentes en mal estado |
| H800.4.2.3 | Mangueras | Alojar y guiar el fluido para ser llevado hacia el sistema hidráulico. | Mangueras rotas | Mangueras dobladas, rotas, acoples en mal estado. | Presión inadecuada en el actuador. | 6 | 3 | 1 | 18 | Revisar las conexiones que se encuentren en buen estado. |
| H800.4.2.4 | Acoples | Conectar las mangueras a las componentes o a otras tuberías. | Acoplamiento defectuoso. | Acoplamiento roto o dañado. | Falta de hermeticidad entre conexiones. | 6 | 3 | 1 | 18 | Verificar que los acoples se encuentren en buen estado. |
| H800.4.2.5 | Filtro Hidráulico | Controla las impurezas del sistema hidráulico | Perdida de presión en mangueras | Poca retención de contaminantes | Disminución del rendimiento del sistema hidráulico. | 6 | 3 | 1 | 18 | Cambiar filtro |
| H800.4.2.6 | Enfriador de aceite | Controlar la temperatura del aceite. | Fisura en el enfriador de aceite | Producido por desgaste y la vibración de la máquina. | Fuga del aceite en el motor | 3 | 3 | 2 | 18 | Revisar el estado, fugas de aceite |
| H800.4.2.7 | Válvula | Proteger el circuito de altas presiones peligrosas. | Mala operación de la válvula | Deterioro de elementos internos, mangueras mal acopladas | Disminución de parámetros de funcionamiento | 3 | 2 | 3 | 18 | Cambiar de válvula |
| H800.4.2.8 | Deposito | Almacenar líquido necesario para que funcione el sistema hidráulico. | Taponamiento de los filtros y coladores | Contaminación por partículas finas, No hay drenado de contaminantes asentados | No libera el aire atrapado en el aceite. Corrosión, Fisuras | 3 | 1 | 3 | 9 | Limpia de filtros y coladores |
| H800.4.2.9 | Cilindro de doble efecto | Ejercer presión sobre las orugas | Falta presión hidráulica | Sellos mecánicos en mal estado | Falta de potencia | 3 | 3 | 1 | 9 | Revisar el nivel de presión, Cambiar de ser necesario |
| Punto crítico o Valor medio | | | | | | | | | 16 | |
| Observaciones: El número de prioridad de riesgos (NPR) crítico será determinado con el promedio de todos los NPR de los diferentes componentes lo cual permitirá priorizar las acciones a tomar. En este caso los elementos con $NPR \geq 16$ son los resaltados de color rojo. | | | | | | | | | | |

| SUBSISTEMA: Tablero de control | | | | | | | | | | |
|--|------------------------|---|--|---|---|---|---|---|-----------|---|
| CÓDIGO | COMPONENTE | FUNCIÓN | MODO DE FALLO | CAUSA DE FALLO | EFECTO DE FALLO | G | F | D | NPR | RECOMENDACIÓN |
| H800.4.3.1 | Cables | Transmitir electricidad por todo el circuito. | Desgaste | Mal cuidado en su manipulación | Descarga eléctrica | 5 | 6 | 3 | 90 | Revisar frecuentemente las conexiones eléctricas del sistema o máquina. |
| H800.4.3.2 | Contactador eléctrico | Controlar o interrumpir el paso de la corriente | Contactos pegados o soldados | Tensión fuera de rango, desgaste de pastillas interiores, Suciedad en el tablero. | No cierra ni abre circuitos. | 6 | 3 | 1 | 18 | Limpiar los contactos, reemplazar de ser necesario |
| H800.4.3.3 | Relé de Térmico | Proteger los motores contra las sobrecargas débiles y prolongadas. | No protege al motor | Amperaje fuera de rango, desgastado | Daño del motor | 6 | 3 | 1 | 18 | Utilizar el voltaje necesario para el sistema. |
| H800.4.3.4 | Fusible | Interrumpir el paso de energía eléctrica al circuito ante algún cortocircuito dentro del mismo. | Fundido o quemado | Aumento temporal de la electricidad | La corriente no llega a los diferentes elementos eléctricos | 3 | 1 | 3 | 9 | Verificar que el voltaje sea el adecuado. |
| H800.4.3.5 | Líneas de alimentación | Proveer corriente a la máquina | Sobrecargas, Cortocircuitos | Alta o baja tensión de la energía suministrada en forma permanente. | No hay alimentación de corriente al sistema eléctrico. | 3 | 1 | 3 | 9 | Limpiar conexiones reemplazar si en necesario |
| H800.4.3.6 | Breakers | Interrumpir el paso de corriente eléctrica si se sobrepasa su valor nominal. | Fusibles quemados, estructura rota. | Corriente de sobrecarga, Cortocircuito, Recalentamiento | No hay paso de corriente, Daño del breiker permanente. | 6 | 3 | 1 | 18 | Limpiar conexiones reemplazar si en necesario |
| H800.4.3.7 | Pulsadores | Comandar circuitos de control para la activación del motor. | No funciona el circuito de control de la máquina | Cables sueltos, oxidación en las uniones | No envía señales a los contactores | 3 | 3 | 7 | 63 | Limpiar conexiones, Revisar el ajuste de las borneras, reemplazar si en necesario |
| Punto crítico o Valor medio | | | | | | | | | 32 | |
| Observaciones: El número de prioridad de riesgos (NPR) crítico será determinado con el promedio de todos los NPR de los diferentes componentes lo cual permitirá priorizar las acciones a tomar. En este caso los elementos con $NPR \geq 32$ son los resaltados de color rojo. | | | | | | | | | | |



Tabla 4. 34. Análisis Modal de Fallos del Cortador

| HOLVIPLAS S. A | | ANÁLISIS AMFE PARA MAQUINARIA DE LA EMPRESA HOLVIPLAS S. A | | | | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | | | |
|--|----------------------|--|-------------------------|---------------------------------|----------------------------|---|---|---|-----------|--|
|  | | Elaborado por: | Ing. Luis Agualongo | Revisado por: | Ing. Christian Castro |  | | | | |
| | | Máquina: | En general | Aprobado por: | Ing. Christian Castro | | | | | |
| | | Sistema: | Cortador | Fecha de elaboración: | 22/05/2019 | | | | | |
| | | Subsistema: | Sistema Transmisión | Fecha de Revisión: | 10/7/2019 | | | | | |
| | | N° Página: | 1 | De: | 3 | | | | | |
| CÓDIGO | COMPONENTE | FUNCIÓN | MODO DE FALLO | CAUSA DE FALLO | EFFECTO DE FALLO | G | F | D | NPR | RECOMENDACIÓN |
| H800.5.1.1 | Banda | Transmitir movimiento entre dos elementos | Desgaste | Rotura por falta de calibración | No trasmite movimiento | 8 | 6 | 2 | 96 | Revisar la condición de la banda si hay desgaste o daño. |
| H800.5.1.2 | Disco de corte | Permitir el corte de material | Desgaste | Desgaste por tiempo de uso | Parada de la máquina | 7 | 4 | 3 | 84 | Revisar el estado, cambiar de ser necesario |
| H800.5.1.3 | Eje | Transmitir el movimiento | Atascamiento | Mala calidad del eje | Rotura de los elementos | 8 | 4 | 2 | 64 | Revisar el estado del eje y verificar que no haya objetos extraños |
| H800.5.1.4 | Protección del disco | Evitar el contacto entre el disco y los operarios | Rotura de la protección | Golpes sobre el protector | Accidentes a los operarios | 5 | 4 | 1 | 20 | Evitar los golpes a los protectores |
| H800.5.1.5 | Tuerca de fijación | Ajustar los diferentes discos. | Aflojamiento | Ajuste inadecuado | Rotura del disco | 6 | 4 | 1 | 24 | Revisar el estado de la rosca, Lubricar |
| H800.5.1.6 | Rodamientos | Soportar cargas axiales y radiales | Desgaste | Lubricación inadecuada | Avería del motor | 7 | 5 | 4 | 140 | Revisar y lubricar rodamientos |
| H800.5.1.7 | Guía de corte | Guiar al disco y realizar cortes rectos | Cortes Desalineados | Falta de ajuste | Desviación en el corte | 6 | 4 | 2 | 48 | Realizar el ajuste adecuado |
| Punto crítico o Valor medio | | | | | | | | | 68 | |
| Observaciones: El número de prioridad de riesgos (NPR) crítico será determinado con el promedio de todos los NPR de los diferentes componentes lo cual permitirá priorizar las acciones a tomar. En este caso los elementos con $NPR \geq 68$ son los resaltados de color rojo. | | | | | | | | | | |

| SUBSISTEMA: Neumático | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|---|---------------------------------|---|---|---|---|---|-----------|--|
| CÓDIGO | COMPONENTE | FUNCIÓN | MODO DE FALLO | CAUSA DE FALLO | EFECTO DE FALLO | G | F | D | NPR | RECOMENDACIÓN |
| H800.5.2.1 | Cilindro de doble efecto | Convertir la energía del aire comprimido en trabajo mecánico para elevar la mesa que soporta la tubería | Pérdida de fuerza del cilindro | Fugas en el propio cilindro y su conexionado, ruptura de amortiguadores. | El vástago no completa totalmente la carrera | 6 | 6 | 6 | 216 | Revisar las fugas y estado de conexiones del cilindro |
| H800.5.2.2 | Codos, Te, Uniones | Unir los circuitos neumáticos formados. | Fugas de aire | Ensamblado defectuoso | Inactivación del sistema neumático | 4 | 3 | 1 | 3 | Revisar el estado de las conexiones Cambiar de ser necesario |
| H800.5.2.3 | Mangueras | Alojar y guiar aire comprimido para ser llevado hacia los diferentes elementos. | Presión de aire baja | Hay suciedad en el interior y fugas en la manguera de aire | Inactivación del actuador | 5 | 3 | 1 | 3 | Limpiar , revisar las fugas |
| H800.5.2.4 | Unidad de mantenimiento | Mantener el aire comprimido que ingresa a la maquina filtrado, regulado y lubricado. | Impurezas en el aire comprimido | Suministro de aire sucio y falta de Limpiar, Falta de aceite de lubricación | Deterioro en las instalaciones neumáticas y todos sus componentes, provocando desgastes exagerados y prematuros | 3 | 3 | 3 | 27 | Revisar el estado del aceite Cambiar filtro |
| H800.5.2.5 | Válvula neumática | Cambiar el sentido de circulación del aire comprimido ante algún impulso externo. | No entra en servicio la válvula | El diafragma está dañado o mal alineado. La válvula está sucia o dañada | Presión excesiva en el sistema | 3 | 1 | 2 | 6 | Limpiar , Revisar y/o Cambiar de la válvula |
| H800.5.2.6 | Regulador de Presión | Regular la entrada de aire comprimido | Presiones de trabajo muy alta | Ruptura de la membrana o resorte del regulador | Grandes pérdidas de carga, desgaste de los componentes. | 4 | 2 | 3 | 24 | Cambiar el resorte |
| H800.5.2.7 | Manómetro | Medir la presión de aire comprimido y mostrar la presión del aire comprimido. | Sobrepresión | Presión superior al límite, aumento y disminución rítmica de una cantidad determinada | Lecturas erróneas de presión en el sistema | 3 | 1 | 1 | 3 | Revisar que la presión suministrada sea la adecuada |
| Punto crítico o Valor medio | | | | | | | | | 43 | |
| Observaciones: El número de prioridad de riesgos (NPR) crítico será determinado con el promedio de todos los NPR de los diferentes componentes lo cual permitirá priorizar las acciones a tomar. En este caso los elementos con $NPR \geq 43$ son los resaltados de color rojo. | | | | | | | | | | |

| SUBSISTEMA: Eléctrico | | | | | | | | | | |
|--|--------------------|--|--|---|---|---|---|---|-----------|---|
| CÓDIGO | COMPONENTE | FUNCIÓN | MODO DE FALLO | CAUSA DE FALLO | EFECTO DE FALLO | G | F | D | NPR | RECOMENDACIÓN |
| H800.5.3.1 | Motor | Transformar una energía eléctrica en energía mecánica | Sobrecalentamiento del motor | Sobrecarga del motor Falla en una fase eléctrica | Disminuye la velocidad, potencia, rendimiento | 6 | 3 | 1 | 18 | Limpiar Revisar el estado del ventilador Comprobar funcionamiento |
| H800.5.3.2 | Sensores | Permitir la activación y desactivación automáticamente el sistema | Sensores quemados | No enciende automáticamente el sistema | El sistema funciona indefinidamente | 7 | 5 | 4 | 140 | Revisar, Cambiar de sensor |
| H800.5.3.3 | Interruptor | Proporcionar corriente eléctrica al equipo | Borneras deterioradas | Exceso de activaciones | Parada total de la maquina | 6 | 4 | 1 | 24 | Realizar un reajuste de borneras programado |
| H800.5.3.4 | Botonera | Comandar circuitos de control para la activación del motor | No se energizan los contactos | Pulsadores quemados, Desgaste | El motor no se activa | 8 | 4 | 2 | 64 | Limpiar conexiones, Revisar el ajuste de las borneras, reemplazar si en necesario |
| H800.5.3.5 | Cables | Conducir el fluido eléctrico por todo el circuito | Sobrecargas | Rupturas de cables | Sistema eléctrico sin circulación de corriente | 6 | 4 | 1 | 24 | Cambiar cables en mal estado |
| H800.5.3.6 | Paro de emergencia | Interrumpir el paso de energía eléctrica a todo el sistema. | No hay contacto | Acumulación de polvo, cables rotos o desconectados | No funciona el paro de emergencia. | 3 | 1 | 3 | 9 | Ajustar conexiones, cambiar botones de ser necesario, Inspeccionar el sistema eléctrico interno |
| H800.5.3.7 | Temporizador | Regular la conexión o desconexión de un circuito eléctrico controlando el tiempo de ejecución. | No energiza la bobina del temporizador | Ruptura de los pines del temporizador, daño de la bobina. | No abre ni cierra los contactos del temporizador. | 3 | 1 | 1 | 3 | Cambio de temporizador |
| Punto crítico o Valor medio | | | | | | | | | 41 | |
| <p>Observaciones: El número de prioridad de riesgos (NPR) crítico será determinado con el promedio de todos los NPR de los diferentes componentes lo cual permitirá priorizar las acciones a tomar. En este caso los elementos con $NPR \geq 41$ son los resaltados de color rojo.</p> | | | | | | | | | | |



Tabla 4. 35. Análisis Modal de Fallos del Acampanador

| HOLVIPLAS S. A | | ANÁLISIS AMFE PARA MAQUINARIA DE LA EMPRESA HOLVIPLAS S. A | | | | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | | | |
|--|------------|---|--|---|--|---|---|---|-----------|--|
|  | | Elaborado por: | Ing. Luis Agualongo | Revisado por: | Ing. Christian Castro |  | | | | |
| | | Máquina: | En general | Aprobado por: | Ing. Christian Castro | | | | | |
| | | Sistema: | Acampanador | Fecha de elaboración: | 22/5/2019 | | | | | |
| | | Subsistema: | Sistema de Transmisión | Fecha de revisión: | 10/7/2019 | | | | | |
| | | # página: | 1 | De: | 3 | | | | | |
| CÓDIGO | COMPONENTE | FUNCIÓN | MODO | CAUSA DE FALLA | EFEECTO | G | F | D | NPR | RECOMENDACIÓN |
| H800.6.1.1 | Motor | Transformar una energía eléctrica en energía mecánica | No hay paso de corriente | Bornes del motor flojos | Paro de máquina | 4 | 2 | 7 | 56 | Ajustar de bornes del motor |
| H800.6.1.2 | Banda | Transmitir movimiento entre dos elementos | Desgaste | Rotura de las bandas | Parada de la máquina | 8 | 6 | 4 | 192 | Revisar el estado de bandas, Cambiar de ser necesario |
| H800.6.1.3 | Polea | Transmitir el movimiento que produce el motor a través de la banda. | Mala alineación entre poleas | Mal montaje | Desgaste excesivo de las bandas | 6 | 2 | 3 | 36 | Revisar el estado de funcionamiento |
| H800.6.1.4 | Rodillos | Facilitar el traslado de la tubería | Desgaste | Fricción natural entre los rodillos | Presencia de aceite, grasa y partículas que pueden desgastar los rodillos y contaminar | 6 | 3 | 1 | 18 | Limpiar y lubricación del rodamiento |
| H800.6.1.5 | Rodamiento | Reducir la fricción entre un eje y las piezas conectadas a éste. | Rotura, Ruido, Aumento de temperatura, vibración excesiva. | Falta de lubricación, Instalación incorrecta, Contactó indebido con las partes giratorias | Pérdida de movimiento. | 6 | 3 | 3 | 54 | Lubricar periódicamente |
| H800.6.1.6 | Eje | Guiar el desplazamiento del cabezal | Rotura del Eje | Mala calidad del material | Pérdida de velocidad | 6 | 4 | 3 | 72 | Seleccionar un material adecuado para la fabricación del eje |
| Punto crítico o Valor medio | | | | | | | | | 71 | |
| <p>Observaciones: El número de prioridad de riesgos (NPR) crítico será determinado con el promedio de todos los NPR de los diferentes componentes lo cual permitirá priorizar las acciones a tomar. En este caso los elementos con $NPR \geq 71$ son los resaltados de color rojo.</p> | | | | | | | | | | |

| SUBSISTEMA: Neumático | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|---|---------------------------------|---|---|---|---|---|-----------|--|
| CÓDIGO | COMPONENTE | FUNCIÓN | MODO | CAUSA DE FALLA | EFEECTO | G | F | D | NPR | RECOMENDACIÓN |
| H800.6.2.1 | Cilindro de doble efecto | Convertir la energía del aire comprimido en trabajo mecánico para elevar la mesa que soporta la tubería | Pérdida de fuerza del cilindro | Fugas en el propio cilindro y su conexionado, ruptura de amortiguadores. | El vástago no completa totalmente la carrera | 6 | 6 | 5 | 180 | Revisar las fugas y estado de conexiones del cilindro |
| H800.6.2.2 | Codos, Te, Uniones | Unir los circuitos neumáticos formados. | Fugas de aire | Ensamblado defectuoso | Inactivación del sistema neumático | 4 | 3 | 2 | 24 | Revisar el estado de las conexiones Cambiar de ser necesario |
| H800.6.2.3 | Mangueras | Alojar y guiar aire comprimido para ser llevado hacia los diferentes elementos. | Presión de aire baja | Hay suciedad en el interior y fugas en la manguera de aire | Inactivación del actuador | 5 | 3 | 3 | 45 | Limpiar , revisar las fugas |
| H800.6.2.4 | Unidad de mantenimiento | Mantener el aire comprimido que ingresa a la maquina filtrado, regulado y lubricado. | Impurezas en el aire comprimido | Suministro de aire sucio y falta de limpieza, Falta de aceite de lubricación | Deterioro en las instalaciones neumáticas y todos sus componentes, provocando desgastes exagerados y prematuros | 5 | 3 | 3 | 45 | Revisar el estado del aceite Cambiar de ser necesario |
| H800.6.2.5 | Válvula neumática | Cambiar el sentido de circulación del aire comprimido ante algún impulso externo. | No entra en servicio la válvula | El diafragma está dañado o mal alineado. La válvula está sucia o dañada | Presión excesiva en el sistema | 4 | 2 | 2 | 16 | Limpiar , Revisar y/o Cambiar de la válvula |
| H800.6.2.6 | Regulador de Presión | Regular la entrada de aire comprimido | Presiones de trabajo muy alta | Ruptura de la membrana o resorte del regulador | Grandes pérdidas de carga, desgaste de los componentes. | 4 | 2 | 3 | 24 | Cambiar el resorte |
| H800.6.2.7 | Manómetro | Medir la presión de aire comprimido y mostrar la presión del aire comprimido. | Sobrepresión | Presión superior al límite, aumento y disminución rítmica de una cantidad determinada | Lecturas erróneas de presión en el sistema | 3 | 1 | 2 | 6 | Revisar que la presión suministrada sea la adecuada |
| Punto crítico o Valor medio | | | | | | | | | 48 | |
| Observaciones: El número de prioridad de riesgos (NPR) crítico será determinado con el promedio de todos los NPR de los diferentes componentes lo cual permitirá priorizar las acciones a tomar. En este caso los elementos con $NPR \geq 48$ son los resaltados de color rojo. | | | | | | | | | | |

| SUBSISTEMA: Eléctrico | | | | | | | | | | |
|--|------------------------|--|--|---|---|---|---|---|-----------|--|
| CÓDIGO | COMPONENTE | FUNCIÓN | MODO | CAUSA DE FALLA | EFEECTO | G | F | D | NPR | RECOMENDACIÓN |
| H800.6.3.1 | Cables | Transmitir electricidad por todo el circuito. | Desgaste | Mal cuidado en su manipulación | Descarga eléctrica | 5 | 6 | 3 | 90 | Revisar frecuentemente las conexiones eléctricas del sistema o máquina. |
| H800.6.3.2 | Contactador eléctrico | Controlar o interrumpir el paso de la corriente | Contactos pegados o soldados | Tensión fuera de rango, desgaste de pastillas interiores, Suciedad en el tablero. | No cierra ni abre circuitos. | 6 | 3 | 3 | 54 | Limpiar los contactos, reemplazar de ser necesario |
| H800.6.3.3 | Relé de Térmico | Proteger los motores contra las sobrecargas débiles y prolongadas. | No protege al motor | Amperaje fuera de rango, desgastado | Daño del motor | 6 | 3 | 2 | 36 | Utilizar el voltaje necesario para el sistema. |
| H800.6.3.4 | Fusible | Interrumpir el paso de energía eléctrica al circuito ante algún cortocircuito dentro del mismo. | Fundido o quemado | Aumento temporal de la electricidad | La corriente no llega a los diferentes elementos eléctricos | 3 | 1 | 3 | 9 | Verificar que el voltaje sea el adecuado. |
| H800.6.3.5 | Líneas de alimentación | Proveer corriente a la máquina | Sobrecargas, Cortocircuitos | Alta o baja tensión de la energía suministrada en forma permanente. | No hay alimentación de corriente al sistema eléctrico. | 4 | 1 | 3 | 12 | Limpiar conexiones reemplazar si en necesario |
| H800.6.3.6 | Breakers | Interrumpir el paso de corriente eléctrica si se sobrepasa su valor nominal. | Fusibles quemados, estructura rota. | Corriente de sobrecarga, Cortocircuito, Recalentamiento | No hay paso de corriente, Daño del breiker permanente. | 6 | 3 | 1 | 18 | Limpiar conexiones reemplazar si en necesario |
| H800.6.3.7 | Pulsadores | Comandar circuitos de control para la activación del motor. | No funciona el circuito de control de la máquina | Cables sueltos, oxidación en las uniones | No envía señales a los contactores | 3 | 3 | 7 | 63 | Limpiar conexiones , Revisar el ajuste de las borneras, reemplazar si en necesario |
| H800.6.3.8 | Variador de frecuencia | Controlar la velocidad rotacional del motor de corriente alterna por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor. | No enciende | Cables sueltos, breacks de seguridad enclavado | No enciende la máquina | 4 | 3 | 2 | 24 | Inspeccionar, cambiar cableado |
| | | | No transmite las ordenes de trabajo | Conexiones equivocados | El motor no cumple con las ordenes emitidas | 4 | 3 | 4 | 48 | Verificar que las velocidades no se hayan distorsionado |
| Punto crítico o Valor medio | | | | | | | | | 39 | |
| Observaciones: El número de prioridad de riesgos (NPR) crítico será determinado con el promedio de todos los NPR de los diferentes componentes lo cual permitirá priorizar las acciones a tomar. En este caso los elementos con $NPR \geq 39$ son los resaltados de color rojo. | | | | | | | | | | |

Tabla 4. 36. Análisis Modal de Fallos del Transporte Hidráulico.

| HOLVIPLAS S. A | | ANÁLISIS AMFE PARA MAQUINARIA DE LA EMPRESA HOLVIPLAS S. A | | | | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | | | |
|--|----------------------|--|---|---------------------------------|--|---|---|---|-----------|---|
|  | | Elaborado por: | Ing. Luis Agualongo | Revisado por: | Ing. Christian Castro |  | | | | |
| | | Equipo: | En general | Aprobado por: | Ing. Christian Castro | | | | | |
| | | Sistema: | Transporte Hidráulico | Fecha de elaboración: | 22/5/2019 | | | | | |
| | | Subsistema: | Sistema Mecánico | Fecha de Revisión: | 10/7/2019 | | | | | |
| | | Nº Página: | 1 | De: | 2 | | | | | |
| CÓDIGO | COMPONENTE | FUNCIÓN | MODO DE FALLO | CAUSA DE FALLO | EFECTO DE FALLO | G | F | D | NPR | RECOMENDACIÓN |
| THH1.1.1 | Chasis | Alojar las demás piezas que constituyen el transporte | Desperfecto | Mal uso | Parada parcial de la máquina | 3 | 3 | 3 | 27 | Realizar un mantenimiento preventivo adecuado |
| THH1.1.2 | Émbolo de la bomba | Permitir el paso del fluido comprimido | Avería | Golpe | No se afloja para permitir el retorno del aceite | 6 | 5 | 2 | 60 | Tener cuidado con golpear o doblar el émbolo |
| THH1.1.3 | Filtro de malla | Filtrar aceite con contaminantes | Obstrucción | Presencia de solidos diminutos | Parada total de la máquina | 4 | 3 | 3 | 36 | Limpiar de filtro Cambiar |
| THH1.1.4 | Válvula de salida | Permitir el paso de aceite desde la cámara de la bomba | Desperfecto | Mal uso | Disminución de la presión de elevación | 6 | 3 | 3 | 54 | Reemplazar la válvula |
| THH1.1.5 | Palanca de elevación | Ejercer presión para que levante el brazo hidráulico | Desgaste | Falta de lubricación | Perdida de presión | 3 | 4 | 3 | 36 | Realizar un mantenimiento preventivo adecuado |
| THH1.1.6 | Base Soporta Cargas | Alojar las cargas guías | Dstrucción gradual por falta de lubricación | Corrosión | Agrietamiento de las cargas guías | 5 | 3 | 3 | 45 | No sobrepasar la capacidad establecida |
| THH1.1.7 | Émbolo del pistón | Comprimir el fluido para elevar la presión. | Avería | Falta de limpieza y lubricación | Perdida de presión | 6 | 5 | 2 | 60 | Evitar golpes bruscos |
| Punto crítico o Valor medio | | | | | | | | | 45 | |
| Observaciones: El número de prioridad de riesgos (NPR) crítico será determinado con el promedio de todos los NPR de los diferentes componentes lo cual permitirá priorizar las acciones a tomar. En este caso los elementos con $NPR \geq 45$ son los resaltados de color rojo. | | | | | | | | | | |

| SUBSISTEMA: Hidráulico | | | | | | | | | | |
|--|---------------------------|--|------------------------------|------------------------------------|--|---|---|---|-----------|--|
| CÓDIGO | COMPONENTE | FUNCIÓN | MODO DE FALLO | CAUSA DE FALLO | EFECTO DE FALLO | G | F | D | NPR | RECOMENDACIÓN |
| THH1.2.1 | Depósito de aceite | Alojar el aceite | Taponamiento de los filtros | Contaminación por partículas finas | No libera el aire atrapado en el aceite | 3 | 2 | 3 | 18 | Limpieza de filtros |
| THH1.2.2 | Válvula de admisión | Permitir el paso de aceite desde el depósito de aceite | Mala operación de la válvula | Deterioro de elementos internos | Disminución de la presión de elevación | 6 | 5 | 2 | 60 | Reemplazar la válvula |
| THH1.2.3 | Cilindro hidráulico | Ejerce fuerza para elevar la carga | Falta presión hidráulica | Deterioro del sello mecánico | No hay suficiente presión para elevar el vástago | 4 | 3 | 3 | 36 | Revisar el nivel de presión |
| THH1.2.4 | Empaque (O-Ring) | Sellar la salida de aceite | Desgaste | Falta de lubricación | Pérdida de presión | 6 | 4 | 2 | 48 | Reemplazar el o-ring |
| THH1.2.5 | Brazo hidráulico (pistón) | Ejercer presión de levantamiento de carga | Desgaste del embolo | Falta de lubricación | Pérdida de presión | 6 | 2 | 2 | 24 | Lubricar el embolo Cambio si es necesario |
| THH1.2.6 | Cámara de la bomba | Desplazar el aceite por el émbolo | Fisura | Golpe | Perdida de presión del aceite | 3 | 3 | 3 | 27 | Cambiar cables en mal estado |
| Punto crítico o Valor medio | | | | | | | | | 36 | |
| Observaciones: El número de prioridad de riesgos (NPR) crítico será determinado con el promedio de todos los NPR de los diferentes componentes lo cual permitirá priorizar las acciones a tomar. En este caso los elementos con $NPR \geq 36$ son los resaltados de color rojo. | | | | | | | | | | |

4.6. Determinación de fiabilidad mediante el método matemático, representación y análisis de gráficas.

4.6.1. Método matemático de Weibull extrusora AMUT 94.

Tabla 4. 37. Estadísticos extrusora AMUT 94.

| Nº FALLAS | ACTIVIDAD | FECHA | To (Horas) |
|-----------|--|------------------|------------|
| | Inicio del análisis | 2/5/2017 | 0 |
| 1 | Cambio de cabezal y malla | 16/5/2017 | 240,0 |
| 1 | Cambio de matricaria | 14/6/2017 | 497,0 |
| 1 | Cambio de malla | 25/7/2017 | 691,0 |
| 1 | Cambio de cabezal | 21/8/2017 | 454,5 |
| 1 | Cambio de cono y Cambiar de malla | 12/9/2017 | 377,0 |
| 1 | Cambio de matricería | 30/10/2017 | 785,0 |
| 2 | Limpieza de hilera y Cambiar de malla | 6/11/2017 | 328,0 |
| | Cambio de cabezal | 20/11/2017 | |
| 2 | Cambio de matricería | 8/12/2017 | 420,0 |
| | Cambio de cabezal | 14/12/2017 | |
| 3 | Corte de energía | 9/1/2018 | 683,5 |
| | Abastecimiento de agua de para duchas de tinas | 19/1/2018 | |
| | Cambio de malla del filtro | 26/1/2018 | |
| 1 | Cambio de matricería | 16/2/2018 | 334,5 |
| 2 | Cambio de campana | 28/3/2018 | 712,0 |
| | Cambio de malla | 30/3/2018 | |
| 1 | Cambio de matricería | 20/4/2018 | 358,5 |
| 3 | Limpieza de la tolva | 8/5/2018 | 869,5 |
| | Cambio de cabezal | 22/5/2018 | |
| | Arreglo sierra de corte | 22/5/2018 | |
| 20 | Fin del análisis | 31/5/2018 | |

Fuente: Autor

A partir de las actividades descritas en la Tabla 4.37 (dato estadístico extrusora AMUT 94) y sabiendo que por cada actividad se encontró una falla, se procede a calcular los parámetros correspondientes para la determinación de la Fiabilidad y la Infiabilidad (probabilidad de fallo) para cada máquina y equipo, utilizando las ecuaciones: 2.9 a la 2.13

Tabla 4. 38. Datos estadísticos Extrusora AMUT 94.

| Nº Falla | t_o | ln(t_o) |
|-----------------|----------------------|--------------------------|
| 1 | 240,0 | 5,4806 |
| 2 | 497,0 | 6,2086 |
| 3 | 691,0 | 6,5381 |
| 4 | 454,5 | 6,1192 |
| 5 | 377,0 | 5,9322 |
| 6 | 785,0 | 6,6657 |
| 8 | 328,0 | 5,7930 |
| 10 | 420,0 | 6,0403 |
| 13 | 683,5 | 6,5272 |
| 14 | 334,5 | 5,8126 |
| 16 | 712,0 | 6,5681 |
| 17 | 358,5 | 5,8819 |
| 20 | 869,5 | 6,7679 |
| | Σ | 80,3356 |

Fuente: Autor

Con los datos de la Tabla 4.38, se calculó sumatoria del ln (t_o) para posteriormente obtener el valor de la media aritmética:

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

$$\bar{x} = \frac{80,3356}{20} = \mathbf{4,0168}$$

Posteriormente calculamos la varianza a partir de la media obtenida con los datos que se expresan en la Tabla 4.39.

Tabla 4. 39. Cálculo de parámetros requeridos Extrusora AMUT 94.

| Nº Falla | t_o | ln(t_o) | (ln(t_o)- \bar{x})² |
|-----------------|----------------------|--------------------------|--|
| 1 | 240,0 | 5,4806 | 2,1429 |
| 2 | 497,0 | 6,2086 | 4,8040 |
| 3 | 691,0 | 6,5381 | 6,3573 |
| 4 | 454,5 | 6,1192 | 4,4202 |
| 5 | 377,0 | 5,9322 | 3,6690 |
| 6 | 785,0 | 6,6657 | 7,0167 |
| 8 | 328,0 | 5,7930 | 3,1550 |
| 10 | 420,0 | 6,0403 | 4,0945 |
| 13 | 683,5 | 6,5272 | 6,3024 |
| 14 | 334,5 | 5,8126 | 3,2251 |
| 16 | 712,0 | 6,5681 | 6,5091 |
| 17 | 358,5 | 5,8819 | 3,4788 |
| 20 | 869,5 | 6,7679 | 7,5688 |
| | Σ | 80,3356 | 62,7437 |

Fuente: Autor

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

$$S^2 = \frac{62,7437}{(20 - 1)} = \mathbf{3,3023}$$

Obtenido el valor de la varianza procedemos a calcular la desviación:

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

$$S = \sqrt{3,3023} = \mathbf{1,8172}$$

Con los valores cálculos procedemos a calcular los parámetros para la ecuación de Weibull:

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

$$\beta = \frac{\pi}{(1,8172)\sqrt{6}}$$

$$\beta = \mathbf{0,7058}$$

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

$$\alpha = \exp\left(4,0168 + \left(\frac{0,5772}{0,7058}\right)\right)$$

$$\alpha = \mathbf{125,7886}$$

Tabla 4. 40. Parámetros iniciales Extrusora AMUT 94.

| | |
|-----------------------------|----------|
| Media aritmética | 4,0168 |
| Varianza S ² | 3,3023 |
| Desviación S | 1,8172 |
| Parámetro de forma β | 0,7058 |
| Parámetro de escala α | 125,7886 |
| Parámetro de localización γ | 0 |

Fuente: Autor

Una vez determinado los parámetros iniciales, se procede a calcular la Fiabilidad y la Infiabilidad de Weibull con las ecuaciones 2.7 y 2.8.

Tabla 4. 41. Cálculo de Fiabilidad de Weibull Extrusora AMUT 94.

| Nº Falla | t_o | $\ln(t_o)$ | $(\ln(t_o) - \bar{x})^2$ | R(t) | R(t) % | F(t) | F(t) % |
|----------|----------|----------------|--------------------------|-----------|---------|--------|----------|
| 1 | 240,0 | 5,4806 | 2,1429 | 0,0822765 | 8,22765 | 0,9177 | 91,77235 |
| 2 | 497,0 | 6,2086 | 4,8040 | 0,0009063 | 0,09063 | 0,9991 | 99,90937 |
| 3 | 691,0 | 6,5381 | 6,3573 | 0,0000140 | 0,00140 | 1,0000 | 99,99860 |
| 4 | 454,5 | 6,1192 | 4,4202 | 0,0020858 | 0,20858 | 0,9979 | 99,79142 |
| 5 | 377,0 | 5,9322 | 3,6690 | 0,0087721 | 0,87721 | 0,9912 | 99,12279 |
| 6 | 785,0 | 6,6657 | 7,0167 | 0,0000015 | 0,00015 | 1,0000 | 99,99985 |
| 8 | 328,0 | 5,7930 | 3,1550 | 0,0204814 | 2,04814 | 0,9795 | 97,95186 |
| 10 | 420,0 | 6,0403 | 4,0945 | 0,0040083 | 0,40083 | 0,9960 | 99,59917 |
| 13 | 683,5 | 6,5272 | 6,3024 | 0,0000166 | 0,00166 | 1,0000 | 99,99834 |
| 14 | 334,5 | 5,8126 | 3,2251 | 0,0183548 | 1,83548 | 0,9816 | 98,16452 |
| 16 | 712,0 | 6,5681 | 6,5091 | 0,0000086 | 0,00086 | 1,0000 | 99,99914 |
| 17 | 358,5 | 5,8819 | 3,4788 | 0,0121517 | 1,21517 | 0,9878 | 98,78483 |
| 20 | 869,5 | 6,7679 | 7,5688 | 0,0000002 | 0,00002 | 1,0000 | 99,99998 |
| | Σ | 80,3356 | 62,7437 | | | | |

Fuente: Autor

Con los datos obtenidos en la Tabla 4.41, procedemos a realizar las Figuras Fiabilidad R (t) vs Tiempo de operación e Infiabilidad F (t) vs Tiempo de operación, respectivamente:

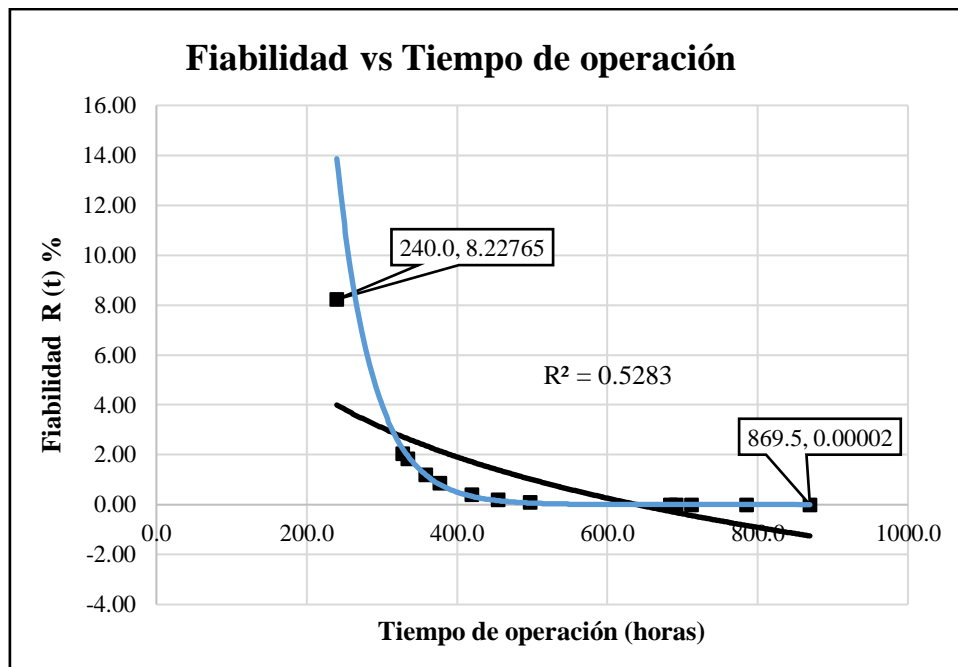


Fig. 4. 16. Fiabilidad de Weibull extrusora AMUT 94 línea de extrusión 800

Fuente: Autor

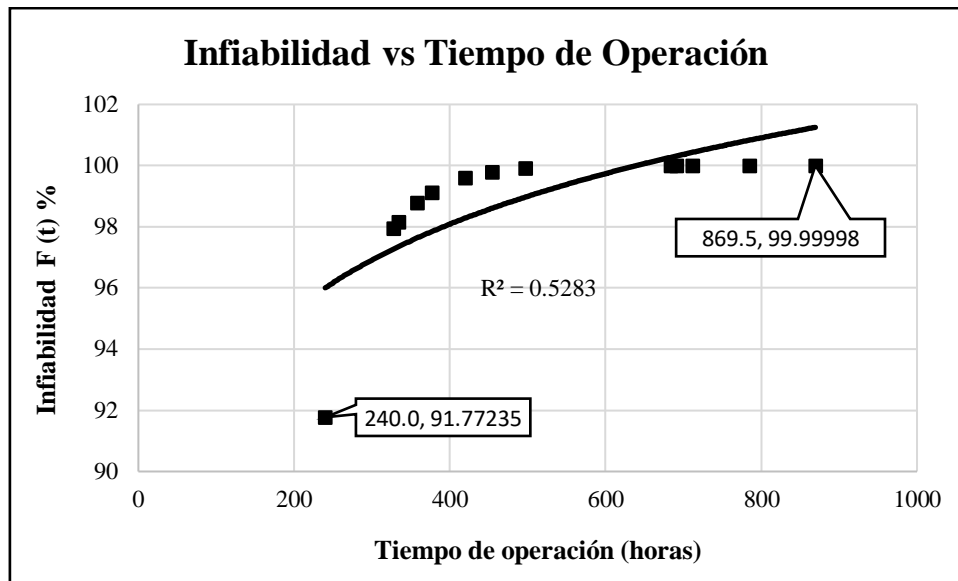


Fig. 4. 17. Infiabilidad de Weibull extrusora AMUT 94 línea de extrusión 800
Fuente: Autor

De las gráficas obtenidas se puede concluir:

- Se pudo identificar en la gráfica de fiabilidad (Figura 4.16) que los datos se encuentran correlacionados de forma que describen una tendencia logarítmica.
- El coeficiente de correlación múltiple es cercano a 1 ($R = 0.5283$), esto quiere decir que los datos se encuentran correlacionados en una tendencia logarítmica permitiendo así describir una curva de fiabilidad adecuada para el análisis de disponibilidad.
- El porcentaje de fiabilidad máximo según el modelo matemático es de 8.22% con un tiempo de operación de 240 h.
- El porcentaje de fiabilidad mínimo según el modelo matemático es de 0,00002% con un tiempo de operación de 869.5 h.
- De la gráfica se puede deducir que a mayor tiempo de operación la fiabilidad de los componentes es menor debido al desgaste y fallas que pueden presentar.
- En la gráfica obtenida a partir del modelo matemático se puede identificar que la extrusora se encuentra en la fase 1 de la curva de la bañera (Fase de rodaje o mortalidad infantil), esto explica que la tasa de fallos sea decreciente.

4.6.2 Método matemático de Weibull tina de vacío.

Para el cálculo del modelo matemático de Weibull en la Tina de vacío se tomó en consideración las mismas ecuaciones (Ec 2.9 a 2.13) y las actividades descritas en la Tabla 4.42, sabiendo que por cada actividad se encontró una falla, obteniendo así los parámetros iniciales siguientes:

Tabla 4. 42. Datos estadísticos Tina de vacío

| N° FALLAS | ACTIVIDAD | FECHA | t_o (Horas) |
|------------------|--|------------------|------------------------------|
| | Inicio del análisis | 2/5/2017 | 0 |
| 1 | Cambio de pernos de calibrador | 8/5/2017 | 120 |
| 1 | Reparación de sistema de enfriamiento de la tina | 6/6/2017 | 502,5 |
| 1 | Cambio de expulsos de agua | 12/7/2017 | 619 |
| 1 | Cambio de caucho de tapa de tina | 16/8/2017 | 572 |
| 1 | Reparación de bomba de vacío de tina | 7/9/2017 | 382 |
| 1 | Cambio de filtro de agua de tina | 12/10/2017 | 569 |
| 1 | Chequeo de tablero de control de la tina | 21/11/2017 | 645 |
| 1 | Cambio de sensor de cierre de nivel de agua en la tina | 6/12/2017 | 261 |
| 1 | Cambio válvula de pie | 11/1/2018 | 574,5 |
| 1 | Cambio de la electroválvula | 12/2/2018 | 526,5 |
| 1 | Cambio de filtro de agua de tina | 14/3/2018 | 502,5 |
| 1 | Chequeo de tablero de control de la tina | 17/4/2018 | 573 |
| 1 | Cambio de expulsos de agua | 10/5/2018 | 381 |
| | Fin del análisis | 31/5/2018 | 356 |

Fuente: Autor

Tabla 4. 43. Datos estadísticos Tina de vacío.

| N° Falla | T_o | ln(t_o) |
|-----------------|----------------------|--------------------------|
| 1 | 120,0 | 4,78749 |
| 2 | 502,5 | 6,21960 |
| 3 | 619,0 | 6,42811 |
| 4 | 572,0 | 6,34914 |
| 5 | 382,0 | 5,94542 |
| 6 | 569,0 | 6,34388 |
| 7 | 645,0 | 6,46925 |
| 8 | 261,0 | 5,56452 |
| 9 | 574,5 | 6,35350 |
| 10 | 526,5 | 6,26625 |
| 11 | 502,5 | 6,21960 |
| 12 | 573,0 | 6,35089 |
| 13 | 381,0 | 5,94280 |
| | Σ | 79,2404 |

Fuente: Autor

Con los datos de la Tabla 4.43, se calculó sumatoria del ln (t_o) para posteriormente obtener el valor de la media aritmética:

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

$$\bar{x} = \frac{79,2404}{13} = \mathbf{6,0954}$$

Posteriormente calculamos la varianza a partir de la media obtenida con los datos que se expresan en la Tabla 4.44.

Tabla 4. 44. Cálculo de parámetros requeridos Tina de vacío.

| Nº Falla | t _o | ln(t _o) | (ln(t _o)- \bar{x}) ² |
|----------|----------------|---------------------|--|
| 1 | 120,0 | 4,78749 | 1,71067 |
| 2 | 502,5 | 6,21960 | 0,01542 |
| 3 | 619,0 | 6,42811 | 0,11068 |
| 4 | 572,0 | 6,34914 | 0,06437 |
| 5 | 382,0 | 5,94542 | 0,02250 |
| 6 | 569,0 | 6,34388 | 0,06173 |
| 7 | 645,0 | 6,46925 | 0,13975 |
| 8 | 261,0 | 5,56452 | 0,28185 |
| 9 | 574,5 | 6,35350 | 0,06661 |
| 10 | 526,5 | 6,26625 | 0,02918 |
| 11 | 502,5 | 6,21960 | 0,01542 |
| 12 | 573,0 | 6,35089 | 0,06526 |
| 13 | 381,0 | 5,94280 | 0,02329 |
| | Σ | 79,2404 | 2,6067 |

Fuente: Autor

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

$$S^2 = \frac{79,2404}{(13 - 1)} = \mathbf{0,2172}$$

Obtenido el valor de la varianza procedemos a calcular la desviación:

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

$$S = \sqrt{0,2172} = \mathbf{0,4661}$$

Con los valores cálculo procedemos a calcular los parámetros para la ecuación de Weibull:

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

$$\beta = \frac{\pi}{(0,4661)\sqrt{6}}$$

$$\beta = 2,7518$$

$$\alpha = \exp\left(\bar{x} + \left(\frac{0.5772}{\beta}\right)\right)$$

$$\alpha = \exp\left(6,0954 + \left(\frac{0.5772}{2,7518}\right)\right)$$

$$\alpha = 547,3960$$

Tabla 4. 45. Parámetros iniciales Tina de vacío.

| | |
|-----------------------------|----------|
| Media aritmética | 6,0954 |
| Varianza S ² | 0,2172 |
| Desviación S | 0,4661 |
| Parámetro de forma β | 2,7518 |
| Parámetro de escala α | 547,3960 |
| Parámetro de localización γ | 0 |

Fuente: Autor

Una vez determinado los parámetros iniciales, se procede a calcular la Fiabilidad y la Infiabilidad de Weibull con las ecuaciones 2.7 y 2.8.

Tabla 4. 46. Cálculo de Fiabilidad de Weibull Tina de vacío.

| Nº Falla | t _o | ln(t _o) | (ln(t _o)- \bar{x}) ² | R(t) | R(t) % | F(t) | F(t) % |
|----------|----------------|---------------------|--|--------|--------|---------|--------|
| 1 | 120,0 | 4,7875 | 1,7107 | 0,5621 | 56,21 | 0,4379 | 43,79 |
| 2 | 502,5 | 6,2196 | 0,0154 | 0,3793 | 37,93 | 0,6207 | 62,07 |
| 3 | 619,0 | 6,4281 | 0,1107 | 0,3515 | 35,15 | 0,6485 | 64,85 |
| 4 | 572,0 | 6,3491 | 0,0644 | 0,3620 | 36,20 | 0,6380 | 63,80 |
| 5 | 382,0 | 5,9454 | 0,0225 | 0,4158 | 41,58 | 0,5842 | 58,42 |
| 6 | 569,0 | 6,3439 | 0,0617 | 0,3627 | 36,27 | 0,6373 | 63,73 |
| 7 | 645,0 | 6,4693 | 0,1398 | 0,3460 | 34,60 | 0,6540 | 65,40 |
| 8 | 261,0 | 5,5645 | 0,2819 | 0,4658 | 46,58 | 0,5342 | 53,42 |
| 9 | 574,5 | 6,3535 | 0,0666 | 0,3614 | 36,14 | 0,6386 | 63,86 |
| 10 | 526,5 | 6,2663 | 0,0292 | 0,3731 | 37,31 | 0,6269 | 62,69 |
| 11 | 502,5 | 6,2196 | 0,0154 | 0,3793 | 37,93 | 0,6207 | 62,07 |
| 12 | 573,0 | 6,3509 | 0,0653 | 0,3618 | 36,18 | 0,6382 | 63,82 |
| 13 | 381,0 | 5,9428 | 0,0233 | 0,4162 | 41,62 | 0,58381 | 58,38 |
| | Σ | 79,2404 | 2,6067 | | | | |

Fuente: Autor

Con los datos obtenidos en la Tabla 4.46, procedemos a realizar las Figuras Fiabilidad R (t) vs Tiempo de operación e Infiabilidad F (t) vs Tiempo de operación, respectivamente:

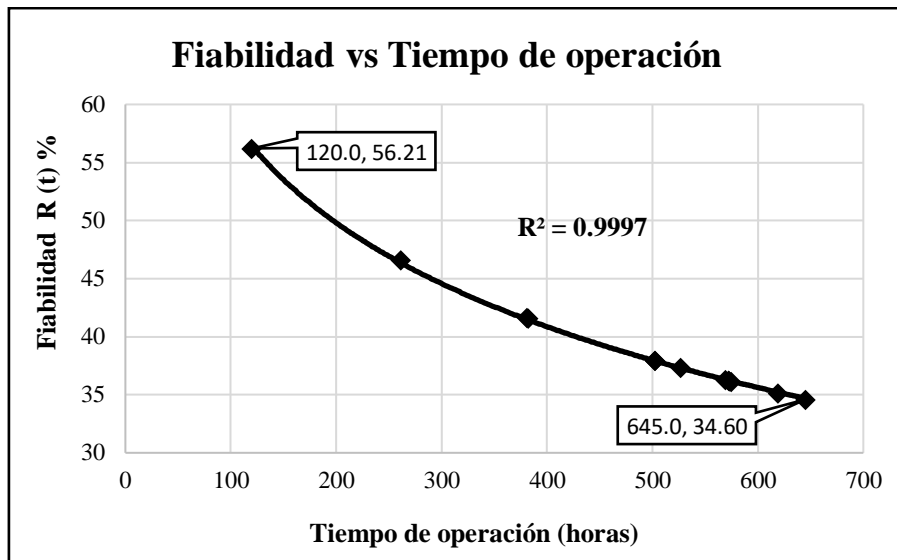


Fig. 4. 18. Fiabilidad de Weibull Tina de vacío línea de extrusión 800
Fuente: Autor

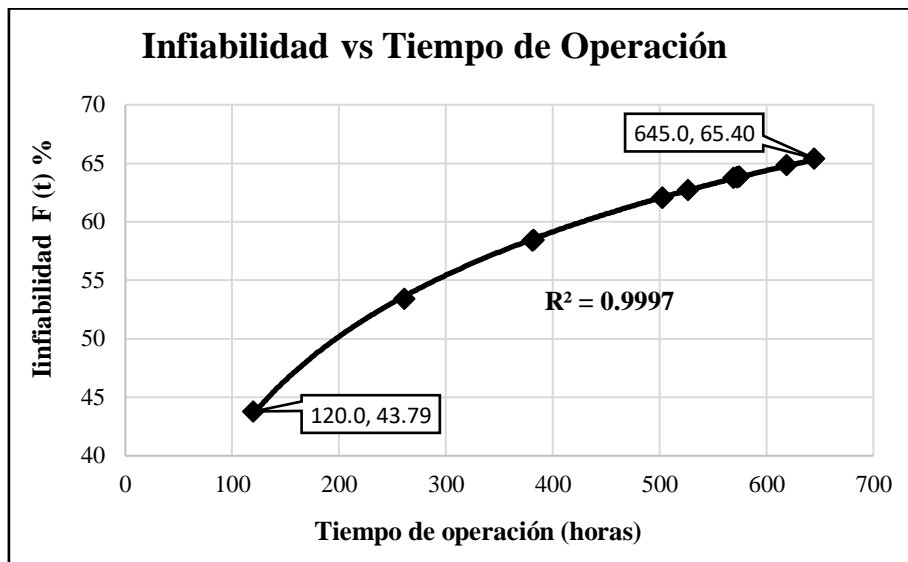


Fig. 4. 19. Infiabilidad Tina de vacío línea de extrusión 800
Fuente: Autor

De las gráficas obtenidas se puede concluir:

- Se pudo identificar en la gráfica de fiabilidad (Figura 4.18) que los datos se encuentran correlacionados de forma que describen una tendencia logarítmica.
- El coeficiente de correlación múltiple es cercano a 1 ($R = 0.9997$), esto quiere decir que los datos se encuentran correlacionados en una tendencia logarítmica permitiendo así describir una curva de fiabilidad adecuada para el análisis de disponibilidad.
- El porcentaje de fiabilidad máximo según el modelo matemático es de 56.21% con un tiempo de operación de 120 h.

- El porcentaje de fiabilidad mínimo según el modelo matemático es de 34.60% con un tiempo de operación de 645 h.
- De la gráfica se puede deducir que a mayor tiempo de operación la fiabilidad de los componentes es menor debido al desgaste y fallas que pueden presentar.
- En la gráfica obtenida a partir del modelo matemático se puede identificar que la tina de vacío se encuentra en la fase 1 de la curva de la bañera (Fase de rodaje o mortalidad infantil), esto explica que la tasa de fallos sea decreciente.

4.6.3 Método matemático de Weibull halador.

Para el cálculo del modelo matemático de Weibull en el halador se tomó en consideración las mismas ecuaciones (Ec 2.9 a 2.13) y las actividades descritas en la Tabla 4.47, sabiendo que por cada actividad se encontró una falla, obteniendo así los parámetros iniciales siguientes:

Tabla 4. 47. Datos estadísticos Halador.

| Nº FALLAS | ACTIVIDAD | FECHA | t₀ (Horas) |
|------------------|---|------------------|------------------------------|
| | Inicio del análisis | 2/5/2017 | 0 |
| 1 | Cambiar de pernos de orugas de halador | 10/5/2017 | 144 |
| 1 | Reparación de cadena de halador | 20/6/2017 | 693 |
| 1 | Chequeo de tablero de control del halador | 12/7/2017 | 380 |
| 1 | Lubricación de sistema de movimiento de oruga | 21/8/2017 | 645 |
| 1 | Reparación de motorreductor | 12/9/2017 | 382,5 |
| 1 | Cambiar de rodamiento de la caja | 30/10/2017 | 761 |
| 1 | Cambiar de rodamientos de la caja inferior | 6/11/2017 | 93 |
| 1 | Cambiar de piñones caja superior | 20/12/2017 | 764 |
| 1 | Ajuste de tornillos de la tapa inferior | 8/1/2018 | 261 |
| 1 | Cambiar de zapatas | 13/2/2018 | 622,83 |
| 1 | Reparación de cadena de halador | 9/3/2018 | 405 |
| 1 | Lubricación de sistema de movimiento de oruga | 19/4/2018 | 692 |
| 1 | chequeo de tablero de control del halador | 25/5/2018 | 574,5 |
| | Fin del análisis | 31/5/2018 | 93 |

Fuente: Autor

Tabla 4. 48. Datos estadísticos Halador.

| Nº Falla | T _o | ln(t _o) |
|----------|----------------|---------------------|
| 1 | 144,0 | 4,9698 |
| 2 | 693,0 | 6,5410 |
| 3 | 380,0 | 5,9402 |
| 4 | 645,0 | 6,4693 |
| 5 | 382,5 | 5,9467 |
| 6 | 761,0 | 6,6346 |
| 7 | 93,0 | 4,5326 |
| 8 | 764,0 | 6,6386 |
| 9 | 261,0 | 5,5645 |
| 10 | 622,8 | 6,4343 |
| 11 | 405,0 | 6,0039 |
| 12 | 692,0 | 6,5396 |
| 13 | 574,5 | 6,3535 |
| | Σ | 78,5686 |

Fuente: Autor

Con los datos de la Tabla 4.48, se calculó sumatoria del ln (t_o) para posteriormente obtener el valor de la media aritmética:

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

$$\bar{x} = \frac{78,5686}{13} = \mathbf{6,0437}$$

Posteriormente calculamos la varianza a partir de la media obtenida con los datos que se expresan en la Tabla 4.49.

Tabla 4. 49. Cálculo de parámetros requeridos Halador.

| Nº Falla | t _o | ln(t _o) | (ln(t _o)- \bar{x}) ² |
|----------|----------------|---------------------|--|
| 1 | 144,0 | 4,9698 | 1,1533 |
| 2 | 693,0 | 6,5410 | 0,2473 |
| 3 | 380,0 | 5,9402 | 0,0107 |
| 4 | 645,0 | 6,4693 | 0,1811 |
| 5 | 382,5 | 5,9467 | 0,0094 |
| 6 | 761,0 | 6,6346 | 0,3492 |
| 7 | 93,0 | 4,5326 | 2,2835 |
| 8 | 764,0 | 6,6386 | 0,3538 |
| 9 | 261,0 | 5,5645 | 0,2296 |
| 10 | 622,8 | 6,4343 | 0,1525 |
| 11 | 405,0 | 6,0039 | 0,0016 |
| 12 | 692,0 | 6,5396 | 0,2459 |
| 13 | 574,5 | 6,3535 | 0,0960 |
| | Σ | 78,5686 | 5,3139 |

Fuente: Autor

$$s^2 = \frac{(\sum \ln(t_o) - \bar{x})^2}{(n - 1)}$$

$$S^2 = \frac{5,3139}{(13 - 1)} = \mathbf{0,4428}$$

Obtenido el valor de la varianza procedemos a calcular la desviación:

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

$$S = \sqrt{0,4428} = \mathbf{0,6655}$$

Con los valores cálculos procedemos a calcular los parámetros para la ecuación de Weibull:

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

$$\beta = \frac{\pi}{(0,6655)\sqrt{6}}$$

$$\beta = \mathbf{1,9273}$$

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

$$\alpha = \exp\left(6,0437 + \left(\frac{0,5772}{1,9273}\right)\right)$$

$$\alpha = \mathbf{568,6220}$$

Tabla 4. 50. Parámetros iniciales Halador.

| | |
|------------------------------------|----------|
| Media aritmética | 6,0437 |
| Varianza S^2 | 0,4428 |
| Desviación S | 0,6655 |
| Parámetro de forma β | 1,9273 |
| Parámetro de escala α | 568,6220 |
| Parámetro de localización γ | 0 |

Fuente: Autor

Una vez determinado los parámetros iniciales, se procede a calcular la Fiabilidad y la Infiabilidad de Weibull con las ecuaciones 2.7 y 2.8.

Tabla 4. 51. Cálculo de Fiabilidad de Weibull Halador.

| Nº Falla | t _o | ln(t _o) | (ln(t _o)- \bar{x}) ² | R(t) | R(t) % | F(t) | F(t) % |
|----------|----------------|---------------------|--|--------|--------|--------|--------|
| 1 | 144,0 | 4,9698 | 1,1533 | 0,6124 | 61,24 | 0,3876 | 38,76 |
| 2 | 693,0 | 6,5410 | 0,2473 | 0,3302 | 33,02 | 0,6698 | 66,98 |
| 3 | 380,0 | 5,9402 | 0,0107 | 0,4443 | 44,43 | 0,5557 | 55,57 |
| 4 | 645,0 | 6,4693 | 0,1811 | 0,3438 | 34,38 | 0,6562 | 65,62 |
| 5 | 382,5 | 5,9467 | 0,0094 | 0,4431 | 44,31 | 0,5569 | 55,69 |
| 6 | 761,0 | 6,6346 | 0,3492 | 0,3125 | 31,25 | 0,6875 | 68,75 |
| 7 | 93,0 | 4,5326 | 2,2835 | 0,6765 | 67,65 | 0,3235 | 32,35 |
| 8 | 764,0 | 6,6386 | 0,3538 | 0,3117 | 31,17 | 0,6883 | 68,83 |
| 9 | 261,0 | 5,5645 | 0,2296 | 0,5129 | 51,29 | 0,4871 | 48,71 |
| 10 | 622,8 | 6,4343 | 0,1525 | 0,3505 | 35,05 | 0,6495 | 64,95 |
| 11 | 405,0 | 6,0039 | 0,0016 | 0,4323 | 43,23 | 0,5677 | 56,77 |
| 12 | 692,0 | 6,5396 | 0,2459 | 0,3305 | 33,05 | 0,6695 | 66,95 |
| 13 | 574,5 | 6,3535 | 0,0960 | 0,3659 | 36,59 | 0,6341 | 63,41 |
| | Σ | 78,5686 | 5,3139 | | | | |

Fuente: Autor

Con los datos obtenidos en la Tabla 4.51, procedemos a realizar las Figuras Fiabilidad R (t) vs Tiempo de operación e Infiabilidad F (t) vs Tiempo de operación, respectivamente:

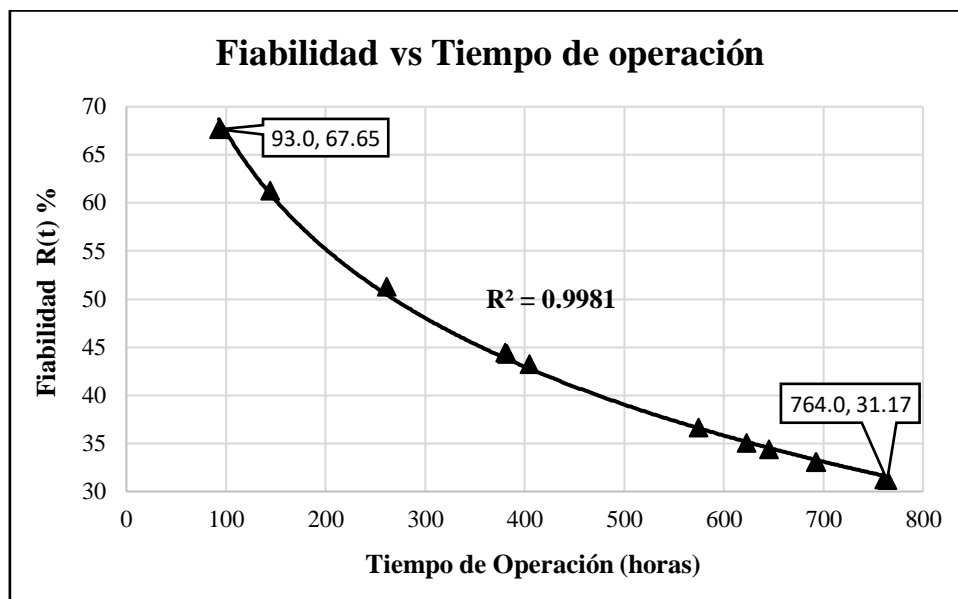


Fig. 4. 20. Fiabilidad de Weibull Halador línea de extrusión 800

Fuente: Autor

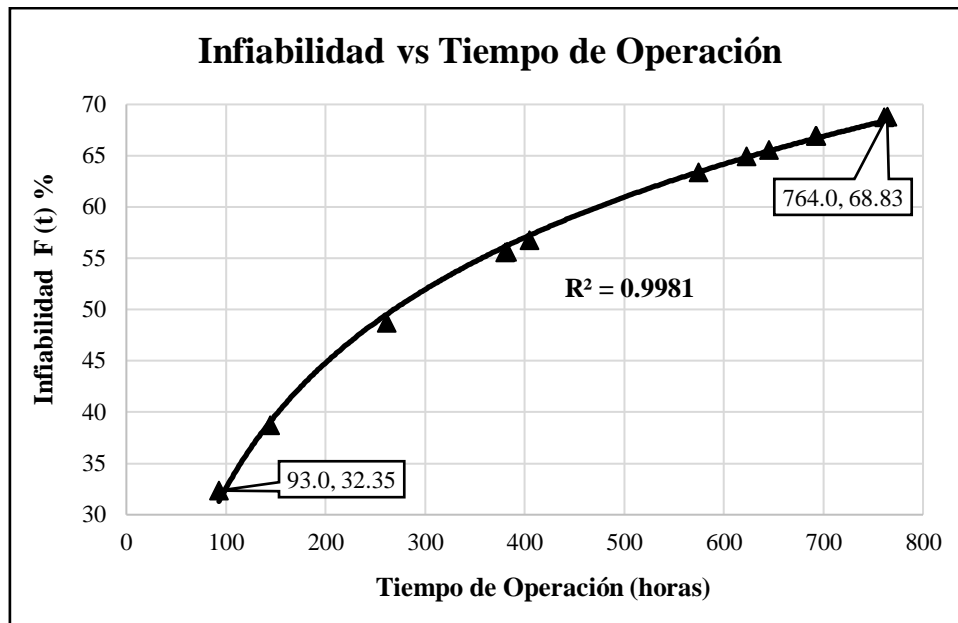


Fig. 4. 21. Infiabilidad Halador línea de extrusión 800
Fuente: Autor

De las gráficas obtenidas se puede concluir:

- Se puede identificar en la gráfica de fiabilidad (Figura 4.20) que los datos se encuentran correlacionados de forma que describen una tendencia logarítmica.
- El coeficiente de correlación múltiple es cercano a 1 ($R = 0.9981$), esto quiere decir que los datos se encuentran correlacionados en una tendencia logarítmica permitiendo así describir una curva de fiabilidad adecuada para el análisis de disponibilidad.
- El porcentaje de fiabilidad máximo según el modelo matemático es de 67.65% con un tiempo de operación de 93 h.
- El porcentaje de fiabilidad mínimo según el modelo matemático es de 31.17% con un tiempo de operación de 764 h.
- De la gráfica se puede deducir que a mayor tiempo de operación la fiabilidad de los componentes es menor debido al desgaste y fallas que pueden presentar.
- En la gráfica obtenida a partir del modelo matemático se puede identificar que el halador se encuentra en la fase 1 de la curva de la bañera (Fase de rodaje o mortalidad infantil), esto explica que la tasa de fallos sea decreciente.

4.6.4 Método matemático de Weibull cortador.

Para el cálculo del modelo matemático de Weibull en el Cortador se tomó en consideración las mismas ecuaciones (Ec 2.9 a 2.13) y las actividades descritas en la Tabla 4.52, sabiendo que por cada actividad se encontró una falla, obteniendo así los parámetros iniciales siguientes:

Tabla 4. 52. Datos estadísticos Cortador.

| Nº FALLAS | ACTIVIDAD | FECHA | DÍAS | to (Horas) |
|-----------|---|------------------|------|------------|
| | Inicio del análisis | 2/5/2017 | 0 | 0 |
| 1 | Cambiar de bandas | 18/5/2017 | 12 | 288 |
| 1 | Cambiar de disco de corte | 16/6/2017 | 21 | 501 |
| 1 | Reposición de contactor del sistema de control | 19/7/2017 | 23 | 549 |
| 1 | Cambiar del térmico del control del motor | 22/8/2017 | 23 | 549 |
| 1 | Reparación del motor del sistema del cortador | 20/9/2017 | 21 | 501 |
| 1 | Limpiar de impurezas de PVC del sistema del cortador | 5/10/2017 | 11 | 257 |
| 1 | Cambiar de pernos de la cubierta del disco | 16/11/2017 | 28 | 668 |
| 1 | Limpiar de electroválvulas del sistema neumático del cortador | 12/12/2017 | 18 | 430,5 |
| 1 | Cambiar de electroválvulas del sistema neumático del cortador | 10/1/2018 | 19 | 453 |
| 1 | Cambiar de zapatas | 22/2/2018 | 30 | 718,5 |
| 1 | Cambiar de la bobina del solenoide | 15/3/2018 | 15 | 358,5 |
| 1 | Cambiar de resistencias | 12/4/2018 | 19 | 454,5 |
| 1 | Limpiar de impurezas de PVC del sistema del cortador | 25/5/2018 | 28 | 670,75 |
| | Fin del análisis | 31/5/2018 | 5 | 116 |

Fuente: Autor

Tabla 4. 53. Datos estadísticos Cortador.

| Nº Falla | t _o | ln(t _o) |
|----------|----------------|---------------------|
| 1 | 288 | 5,6630 |
| 2 | 501 | 6,2166 |
| 3 | 549,0 | 6,3081 |
| 4 | 549,0 | 6,3081 |
| 5 | 501 | 6,2166 |
| 6 | 257,0 | 5,5491 |
| 7 | 668 | 6,5043 |
| 8 | 431 | 6,0649 |
| 9 | 453 | 6,1159 |
| 10 | 719 | 6,5772 |
| 11 | 359 | 5,8819 |
| 12 | 454,50 | 6,1192 |
| 13 | 670,8 | 6,5084 |
| | Σ | 80,0333 |

Fuente: Autor

Con los datos de la Tabla 4.53, se calculó sumatoria del ln (t_o) para posteriormente obtener el valor de la media aritmética:

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

$$\bar{x} = \frac{80,0333}{13} = \mathbf{6,1564}$$

Posteriormente calculamos la varianza a partir de la media obtenida con los datos que se expresan en la Tabla 4.54.

Tabla 4. 54. Cálculo de parámetros requeridos Cortador.

| Nº Falla | t _o | ln(t _o) | (ln(t _o)- \bar{x}) ² |
|----------|----------------|---------------------|--|
| 1 | 288 | 5,6630 | 0,2435 |
| 2 | 501 | 6,2166 | 0,0036 |
| 3 | 549,0 | 6,3081 | 0,0230 |
| 4 | 549,0 | 6,3081 | 0,0230 |
| 5 | 501 | 6,2166 | 0,0036 |
| 6 | 257,0 | 5,5491 | 0,3688 |
| 7 | 668 | 6,5043 | 0,1210 |
| 8 | 431 | 6,0649 | 0,0084 |
| 9 | 453 | 6,1159 | 0,0016 |
| 10 | 719 | 6,5772 | 0,1770 |
| 11 | 359 | 5,8819 | 0,0753 |
| 12 | 454,50 | 6,1192 | 0,0014 |
| 13 | 670,8 | 6,5084 | 0,1239 |
| | Σ | 80,0333 | 1,1743 |

Fuente: Autor

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

$$S^2 = \frac{1,1743}{(13 - 1)} = \mathbf{0,0979}$$

Obtenido el valor de la varianza procedemos a calcular la desviación:

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

$$S = \sqrt{0,0979} = \mathbf{0,3128}$$

Con los valores cálculos procedemos a calcular los parámetros para la ecuación de Weibull:

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

$$\beta = \frac{\pi}{(0,3128)\sqrt{6}}$$

$$\beta = \mathbf{4,0999}$$

$$\alpha = \exp\left(\bar{x} + \left(\frac{0.5772}{\beta}\right)\right)$$

$$\alpha = \exp\left(6,1564 + \left(\frac{0.5772}{4,0999}\right)\right)$$

$$\alpha = 543,0425$$

Tabla 4. 55. Parámetros iniciales Cortador.

| | |
|---------------------------------|----------|
| Media aritmética | 6,1564 |
| Varianza S ² | 0,0979 |
| Desviación S | 0,3128 |
| Parámetro de forma (β) | 4,0999 |
| Parámetro de escala (α) | 543,0425 |
| Parámetro de localización (γ) | 0 |

Fuente: Autor

Una vez determinado los parámetros iniciales, se procede a calcular la Fiabilidad y la Infiabilidad de Weibull con las ecuaciones 2.7 y 2.8.

Tabla 4. 56. Cálculo de Fiabilidad de Weibull Cortador.

| Nº Falla | t _o | ln(t _o) | (ln(t _o)- \bar{x}) ² | R(t) | R(t) % | F(t) | F(t) % |
|----------|----------------|---------------------|--|--------|--------|--------|--------|
| 1 | 288 | 5,6630 | 0,2435 | 0,4246 | 42,46 | 0,5754 | 57,54 |
| 2 | 501 | 6,2166 | 0,0036 | 0,3751 | 37,51 | 0,6249 | 62,49 |
| 3 | 549,0 | 6,3081 | 0,0230 | 0,3669 | 36,69 | 0,6331 | 63,31 |
| 4 | 549,0 | 6,3081 | 0,0230 | 0,3669 | 36,69 | 0,6331 | 63,31 |
| 5 | 501 | 6,2166 | 0,0036 | 0,3751 | 37,51 | 0,6249 | 62,49 |
| 6 | 257,0 | 5,5491 | 0,3688 | 0,4347 | 43,47 | 0,5653 | 56,53 |
| 7 | 668 | 6,5043 | 0,1210 | 0,3493 | 34,93 | 0,6507 | 65,07 |
| 8 | 431 | 6,0649 | 0,0084 | 0,3887 | 38,87 | 0,6113 | 61,13 |
| 9 | 453 | 6,1159 | 0,0016 | 0,3841 | 38,41 | 0,6159 | 61,59 |
| 10 | 719 | 6,5772 | 0,1770 | 0,3428 | 34,28 | 0,6572 | 65,72 |
| 11 | 359 | 5,8819 | 0,0753 | 0,4051 | 40,51 | 0,5949 | 59,49 |
| 12 | 454,50 | 6,1192 | 0,0014 | 0,3838 | 38,38 | 0,6162 | 61,62 |
| 13 | 670,8 | 6,5084 | 0,1239 | 0,3489 | 34,89 | 0,6511 | 65,11 |
| | Σ | 80,0333 | 1,1743 | | | | |

Fuente: Autor

Con los datos obtenidos en la Tabla 4.56, procedemos a realizar las Figuras Fiabilidad R (t) vs Tiempo de operación e Infiabilidad F (t) vs Tiempo de operación, respectivamente:

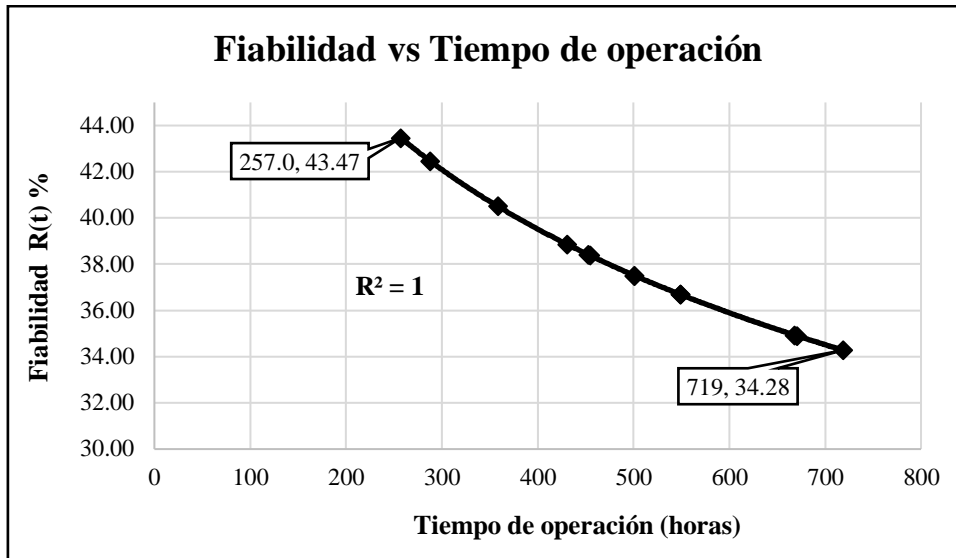


Fig. 4.22. Fiabilidad de Weibull Cortador línea de extrusión 800
Fuente: Autor

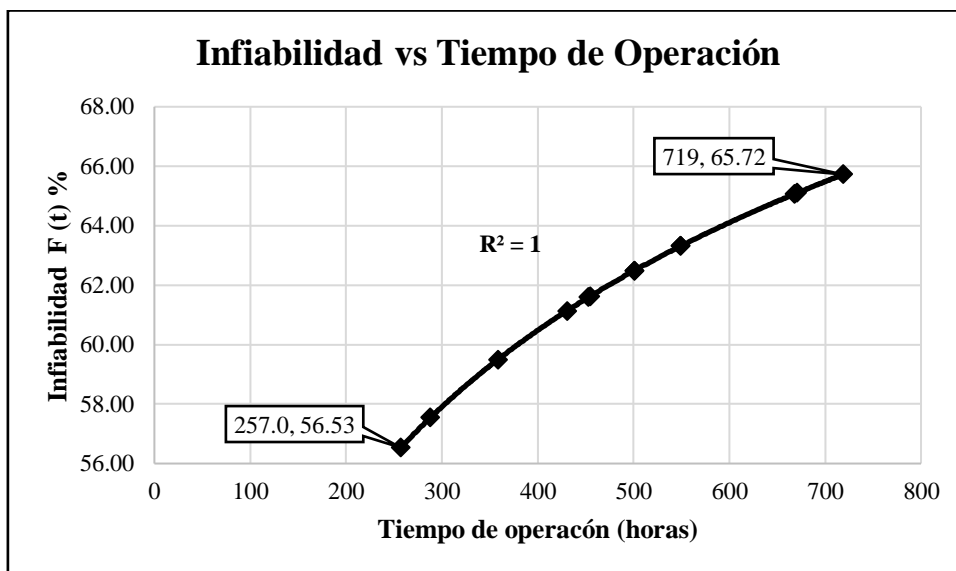


Fig. 4.23. Infiabilidad cortador línea de extrusión 800
Fuente: Autor

De las gráficas obtenidas se puede concluir:

- Se pudo identificar en la gráfica de fiabilidad (Figura 4.22) que los datos se encuentran correlacionados de forma que describen una tendencia logarítmica.
- El coeficiente de correlación múltiple es igual a 1 ($R = 1$), esto quiere decir que los datos se encuentran correlacionados en una tendencia logarítmica permitiendo así describir una curva de fiabilidad adecuada para el análisis de disponibilidad.
- El porcentaje de fiabilidad máximo según el modelo matemático es de 43,47.65% con un tiempo de operación de 257 h.

- El porcentaje de fiabilidad mínimo según el modelo matemático es de 34.28% con un tiempo de operación de 719 h.
- De la gráfica se puede deducir que a mayor tiempo de operación la fiabilidad de los componentes es menor debido al desgaste y fallas que pueden presentar.
- En la gráfica obtenida a partir del modelo matemático se puede identificar que el cortador se encuentra en la fase 1 de la curva de la bañera (Fase de rodaje o mortalidad infantil), esto explica que la tasa de fallos sea decreciente.

4.6.5. Método matemático de Weibull acampanador.

Para el cálculo del modelo matemático de Weibull en el Acampanador se tomó en consideración las mismas ecuaciones (Ec 2.9 a 2.13) y las actividades descritas en la Tabla 4.57, sabiendo que por cada actividad se encontró una falla, obteniendo así los parámetros iniciales siguientes:

Tabla 4. 57. Datos estadísticos Acampanador

| N° FALLAS | ACTIVIDAD | FECHA | DÍAS | t_o (Horas) |
|------------------|---|------------------|-------------|------------------------------|
| | Inicio del análisis | 2/5/2017 | 0 | 0 |
| 1 | La bobina de la electroválvula esta quemada | 9/5/2017 | 5 | 120,00 |
| 1 | La resistencia del acampanador está en corto | 12/6/2017 | 24 | 574,50 |
| 1 | Resistencia estallada | 21/7/2017 | 29 | 694,75 |
| 1 | Cambio de resistencia | 18/8/2017 | 19 | 454,75 |
| 1 | La manguera que va hacia el cilindro está rota | 11/9/2017 | 16 | 381,00 |
| 1 | Revisión contactor | 18/10/2017 | 26 | 621,00 |
| 1 | Cambio de bobina | 3/11/2017 | 11 | 262,50 |
| 1 | En la universal presenta fuga, no carga porque chupa aire | 7/12/2017 | 24 | 573,00 |
| 1 | Revisión el nivel del aceite de los motorreductores | 12/1/2018 | 24 | 574,50 |
| 1 | Inspección general de los motorreductores | 7/2/2018 | 18 | 429,00 |
| 1 | Revisión el ajuste de los racores | 20/3/2018 | 29 | 691,00 |
| 1 | Inspección general del horno. | 18/4/2018 | 21 | 499,00 |
| 1 | Revisión general del sistema eléctrico | 14/5/2018 | 17 | 405,00 |
| | Fin del análisis | 31/5/2018 | 13 | 307,00 |

Fuente: Autor

Tabla 4. 58. Datos estadísticos Acampanador.

| Nº Falla | T _o | ln(t _o) |
|----------|----------------|---------------------|
| 1 | 120,00 | 4,7875 |
| 2 | 574,50 | 6,3535 |
| 3 | 694,75 | 6,5436 |
| 4 | 454,75 | 6,1197 |
| 5 | 381,00 | 5,9428 |
| 6 | 621,00 | 6,4313 |
| 7 | 262,50 | 5,5703 |
| 8 | 573,00 | 6,3509 |
| 9 | 574,50 | 6,3535 |
| 10 | 429,00 | 6,0615 |
| 11 | 691,00 | 6,5381 |
| 12 | 499,00 | 6,2126 |
| 13 | 405,00 | 6,0039 |
| | Σ | 79,2691 |

Fuente: Autor

Con los datos de la Tabla 4.58, se calculó sumatoria del ln (t_o) para posteriormente obtener el valor de la media aritmética:

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

$$\bar{x} = \frac{79,2691}{13} = 6,0976$$

Posteriormente calculamos la varianza a partir de la media obtenida con los datos que se expresan en la Tabla 4.59.

Tabla 4. 59. Cálculo de parámetros requeridos Acampanador.

| Nº Falla | t _o | ln(t _o) | (ln(t _o)- \bar{x}) ² |
|----------|----------------|---------------------|--|
| 1 | 120,00 | 4,7875 | 1,7165 |
| 2 | 574,50 | 6,3535 | 0,0655 |
| 3 | 694,75 | 6,5436 | 0,1988 |
| 4 | 454,75 | 6,1197 | 0,0005 |
| 5 | 381,00 | 5,9428 | 0,0240 |
| 6 | 621,00 | 6,4313 | 0,1114 |
| 7 | 262,50 | 5,5703 | 0,2781 |
| 8 | 573,00 | 6,3509 | 0,0641 |
| 9 | 574,50 | 6,3535 | 0,0655 |
| 10 | 429,00 | 6,0615 | 0,0013 |
| 11 | 691,00 | 6,5381 | 0,1941 |
| 12 | 499,00 | 6,2126 | 0,0132 |
| 13 | 405,00 | 6,0039 | 0,0088 |
| | Σ | 79,2691 | 2,7417 |

Fuente: Autor

$$s^2 = \frac{(\sum \ln(t_o) - \bar{x})^2}{(n - 1)}$$

$$S^2 = \frac{2,7417}{(13 - 1)} = \mathbf{0,2285}$$

Obtenido el valor de la varianza procedemos a calcular la desviación:

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

$$S = \sqrt{0,2285} = \mathbf{0,4780}$$

Con los valores cálculos procedemos a calcular los parámetros para la ecuación de Weibull:

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

$$\beta = \frac{\pi}{(0,4780)\sqrt{6}}$$

$$\mathbf{\beta = 2,6832}$$

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

$$\alpha = \exp\left(6,0976 + \left(\frac{0,5772}{2,6832}\right)\right)$$

$$\mathbf{\alpha = 551,5553}$$

Tabla 4. 60. Parámetros iniciales Acampanador.

| | |
|---------------------------------|----------|
| Media aritmética | 6,0976 |
| Varianza S ² | 0,2285 |
| Desviación S | 0,4780 |
| Parámetro de forma (β) | 2,6832 |
| Parámetro de escala (α) | 551,5553 |
| Parámetro de localización (γ) | 0 |

Fuente: Autor

Una vez determinado los parámetros iniciales, se procede a calcular la Fiabilidad y la Infiabilidad de Weibull con las ecuaciones 2.7 y 2.8.

Tabla 4. 61. Cálculo de Fiabilidad de Weibull Acampanador.

| Nº Falla | t _o | ln(t _o) | (ln(t _o)- \bar{x}) ² | R(t) | R(t) % | F(t) | F(t) % |
|----------|----------------|---------------------|--|--------|--------|--------|--------|
| 1 | 120,00 | 4,7875 | 1,7165 | 0,5676 | 56,76 | 0,4324 | 43,24 |
| 2 | 574,50 | 6,3535 | 0,0655 | 0,3623 | 36,23 | 0,6377 | 63,77 |
| 3 | 694,75 | 6,5436 | 0,1988 | 0,3363 | 33,63 | 0,6637 | 66,37 |
| 4 | 454,75 | 6,1197 | 0,0005 | 0,3943 | 39,43 | 0,6057 | 60,57 |
| 5 | 381,00 | 5,9428 | 0,0240 | 0,4184 | 41,84 | 0,5816 | 58,16 |
| 6 | 621,00 | 6,4313 | 0,1114 | 0,3516 | 35,16 | 0,6484 | 64,84 |
| 7 | 262,50 | 5,5703 | 0,2781 | 0,4685 | 46,85 | 0,5315 | 53,15 |
| 8 | 573,00 | 6,3509 | 0,0641 | 0,3626 | 36,26 | 0,6374 | 63,74 |
| 9 | 574,50 | 6,3535 | 0,0655 | 0,3623 | 36,23 | 0,6377 | 63,77 |
| 10 | 429,00 | 6,0615 | 0,0013 | 0,4023 | 40,23 | 0,5977 | 59,77 |
| 11 | 691,00 | 6,5381 | 0,1941 | 0,3370 | 33,70 | 0,6630 | 66,30 |
| 12 | 499,00 | 6,2126 | 0,0132 | 0,3816 | 38,16 | 0,6184 | 61,84 |
| 13 | 405,00 | 6,0039 | 0,0088 | 0,4101 | 41,01 | 0,5899 | 58,99 |
| | Σ | 79,2691 | 2,7417 | | | | |

Fuente: Autor

Con los datos obtenidos en la Tabla 4.61, procedemos a realizar las Figuras Fiabilidad R (t) vs Tiempo de operación e Infiabilidad F (t) vs Tiempo de operación, respectivamente:

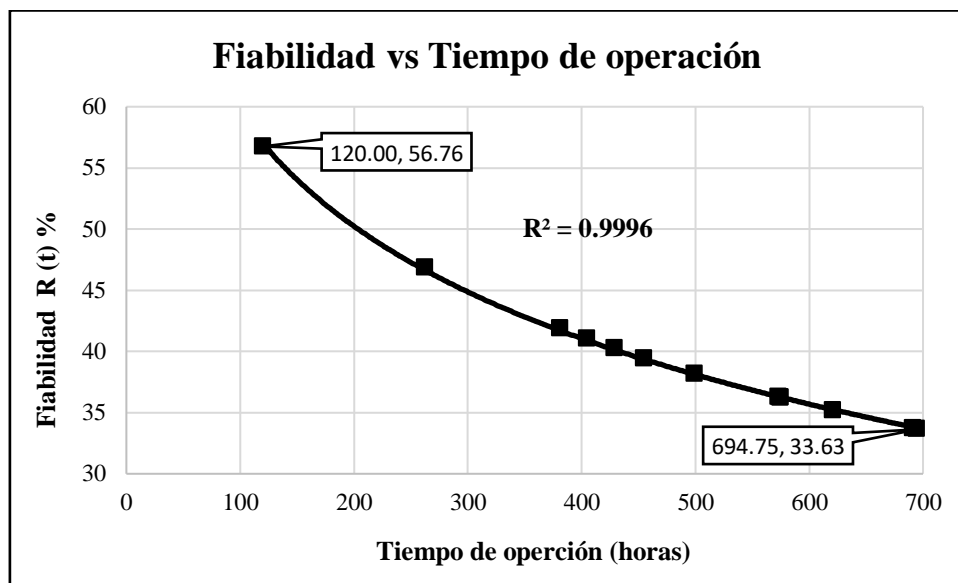


Fig. 4. 24. Fiabilidad de Weibull Acampanador línea de extrusión 800

Fuente: Autor

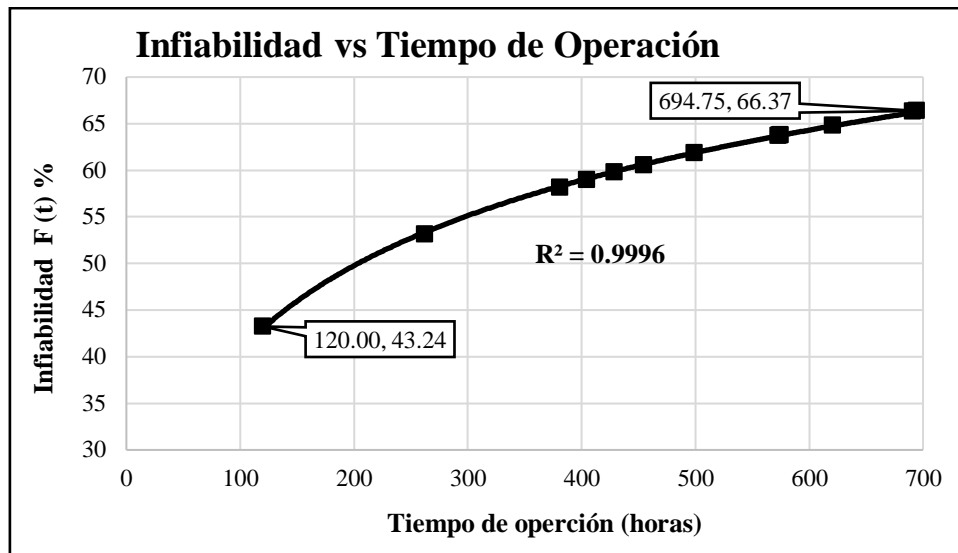


Fig. 4. 25. Infiabilidad acampanador línea de extrusión 800
Fuente: Autor

De las gráficas obtenidas se puede concluir:

- Se pudo identificar en la gráfica de fiabilidad (Figura 4.24) que los datos se encuentran correlacionados de forma que describen una tendencia logarítmica.
- El coeficiente de correlación múltiple es igual a 1 ($R = 0,9996$), esto quiere decir que los datos se encuentran correlacionados en una tendencia logarítmica permitiendo así describir una curva de fiabilidad adecuada para el análisis de disponibilidad.
- El porcentaje de fiabilidad máximo según el modelo matemático es de 56,76% con un tiempo de operación de 120 h.
- El porcentaje de fiabilidad mínimo según el modelo matemático es de 33,63% con un tiempo de operación de 694,75 h.
- De la gráfica se puede deducir que a mayor tiempo de operación la fiabilidad de los componentes es menor debido al desgaste y fallas que pueden presentar.
- En la gráfica obtenida a partir del modelo matemático se puede identificar que el acampanador se encuentra en la fase 1 de la curva de la bañera (Fase de rodaje o mortalidad infantil), esto explica que la tasa de fallos sea decreciente.

4.6.6. Método matemático de Weibull impresora de tubería.

Para el cálculo del modelo matemático de Weibull en la Impresora de tubería se tomó en consideración las mismas ecuaciones (Ec 2.9 a 2.13) y las actividades descritas en la Tabla 4.62, sabiendo que por cada actividad se encontró una falla, obteniendo así los parámetros iniciales siguientes:

Tabla 4. 62. Datos estadísticos Impresora de tubería.

| Nº FALLAS | ACTIVIDAD | FECHA | DÍAS | to (Horas) |
|------------------|--|------------------|-------------|-------------------|
| | Inicio del análisis | 2/5/2017 | 0 | 0 |
| 3 | Inspección del sistema eléctrico | 5/5/2017 | 3 | 72,00 |
| | Verificación del nivel de tinta | 8/5/2017 | 1 | 21,00 |
| | Cambio de filtros y cartuchos de tinta | 17/5/2017 | 7 | 166,50 |
| 2 | Verificación del nivel de tinta | 8/6/2017 | 16 | 379,00 |
| | Cambio de filtros y cartuchos de tinta | 19/6/2017 | 7 | 166,50 |
| 2 | Verificación del nivel de tinta | 10/7/2017 | 15 | 355,00 |
| | Cambio de filtros y cartuchos de tinta | 19/7/2017 | 7 | 166,50 |
| 3 | Inspección del sistema eléctrico | 7/8/2017 | 13 | 307,00 |
| | Verificación del nivel de tinta | 11/8/2017 | 3 | 69,00 |
| | Cambio de filtros y cartuchos de tinta | 21/8/2017 | 6 | 142,50 |
| 2 | Verificación del nivel de tinta | 11/9/2017 | 15 | 355,00 |
| | Cambio de filtros y cartuchos de tinta | 21/9/2017 | 8 | 190,50 |
| 2 | Verificación del nivel de tinta | 11/10/2017 | 13 | 307,00 |
| | Cambio de filtros y cartuchos de tinta | 20/10/2017 | 7 | 166,50 |
| 3 | Inspección del sistema eléctrico | 6/11/2017 | 11 | 259,00 |
| | Verificación del nivel de tinta | 10/11/2017 | 4 | 93,00 |
| | Cambio de filtros y cartuchos de tinta | 20/11/2017 | 6 | 142,50 |
| 2 | Verificación del nivel de tinta | 11/12/2017 | 15 | 355,00 |
| | Cambio de filtros y cartuchos de tinta | 20/12/2017 | 8 | 190,50 |
| 2 | Verificación del nivel de tinta | 11/1/2018 | 14 | 331,00 |
| | Cambio de filtros y cartuchos de tinta | 19/1/2018 | 6 | 142,50 |
| 3 | Inspección del sistema eléctrico | 5/2/2018 | 11 | 259,00 |
| | Verificación del nivel de tinta | 12/2/2018 | 5 | 117,00 |
| | Cambio de filtros y cartuchos de tinta | 19/2/2018 | 5 | 118,50 |
| 2 | Verificación del nivel de tinta | 12/3/2018 | 15 | 355,00 |
| | Cambio de filtros y cartuchos de tinta | 19/3/2018 | 5 | 118,50 |
| 2 | Verificación del nivel de tinta | 12/4/2018 | 18 | 427,00 |
| | Cambio de filtros y cartuchos de tinta | 19/4/2018 | 5 | 118,50 |
| 3 | Inspección del sistema eléctrico | 7/5/2018 | 11 | 259,00 |
| | Verificación del nivel de tinta | 14/5/2018 | 5 | 117,00 |
| | Cambio de filtros y cartuchos de tinta | 18/5/2018 | 4 | 94,50 |
| | Fin del análisis | 31/5/2018 | 9 | 211,00 |

Fuente: Autor

Tabla 4. 63. Datos estadísticos Impresora de tubería

| Nº Falla | t _o | ln(t _o) |
|----------|----------------|---------------------|
| 3 | 259,5 | 5,5588 |
| 5 | 545,5 | 6,3017 |
| 7 | 521,5 | 6,2567 |
| 10 | 518,5 | 6,2509 |
| 12 | 545,5 | 6,3017 |
| 14 | 473,5 | 6,1602 |
| 17 | 494,5 | 6,2035 |
| 19 | 545,5 | 6,3017 |
| 21 | 473,5 | 6,1602 |
| 24 | 494,5 | 6,2035 |
| 26 | 473,5 | 6,1602 |
| 28 | 545,5 | 6,3017 |
| 31 | 681,5 | 6,5243 |
| | Σ | 80,6851 |

Fuente: Autor

Con los datos de la Tabla 4.63, se calculó sumatoria del ln (t_o) para posteriormente obtener el valor de la media aritmética:

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

$$\bar{x} = \frac{80,6851}{13} = 2,6027$$

Posteriormente calculamos la varianza a partir de la media obtenida con los datos que se expresan en la Tabla 4.64.

Tabla 4. 64. Cálculo de parámetros requeridos Impresora de tubería

| Nº Falla | t _o | ln(t _o) | (ln(t _o)- \bar{x}) ² |
|----------|----------------|---------------------|--|
| 3 | 259,5 | 5,5588 | 8,7380 |
| 5 | 545,5 | 6,3017 | 13,6823 |
| 7 | 521,5 | 6,2567 | 13,3515 |
| 10 | 518,5 | 6,2509 | 13,3093 |
| 12 | 545,5 | 6,3017 | 13,6823 |
| 14 | 473,5 | 6,1602 | 12,6552 |
| 17 | 494,5 | 6,2035 | 12,9658 |
| 19 | 545,5 | 6,3017 | 13,6823 |
| 21 | 473,5 | 6,1602 | 12,6552 |
| 24 | 494,5 | 6,2035 | 12,9658 |
| 26 | 473,5 | 6,1602 | 12,6552 |
| 28 | 545,5 | 6,3017 | 13,6823 |
| 31 | 681,5 | 6,5243 | 15,3786 |
| | Σ | 80,6851 | 169,4036 |

Fuente: Autor

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

$$S^2 = \frac{169,4036}{(13 - 1)} = \mathbf{5,6468}$$

Obtenido el valor de la varianza procedemos a calcular la desviación:

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

$$S = \sqrt{5,6468} = \mathbf{2,3763}$$

Con los valores cálculos procedemos a calcular los parámetros para la ecuación de Weibull:

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

$$\beta = \frac{\pi}{(2,3763)\sqrt{6}}$$

$$\beta = \mathbf{0,5397}$$

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

$$\alpha = \exp\left(2,6027 + \left(\frac{0,5772}{0,5397}\right)\right)$$

$$\alpha = \mathbf{39,3374}$$

Tabla 4. 65. Parámetros iniciales Impresora de tubería

| | |
|--|---------|
| Media aritmética | 2,6027 |
| Varianza S^2 | 5,6468 |
| Desviación S | 2,3763 |
| Parámetro de forma (β) | 0,5397 |
| Parámetro de escala (α) | 39,3374 |
| Parámetro de localización (γ) | 0 |

Fuente: Autor

Una vez determinado los parámetros iniciales, se procede a calcular la Fiabilidad y la Infiabilidad de Weibull con las ecuaciones 2.7 y 2.8.

Tabla 4. 66. Cálculo de Fiabilidad de Weibull Impresora de tubería

| N° Falla | t ₀ | ln(t ₀) | (ln(t ₀)- \bar{x}) ² | R(t) | R(t) % | F(t) | F(t) % |
|----------|----------------|---------------------|--|--------|--------|--------|--------|
| 3 | 259,5 | 5,5588 | 8,7380 | 0,0628 | 6,28 | 0,9372 | 93,72 |
| 5 | 545,5 | 6,3017 | 13,6823 | 0,0160 | 1,60 | 0,9840 | 98,40 |
| 7 | 521,5 | 6,2567 | 13,3515 | 0,0177 | 1,77 | 0,9823 | 98,23 |
| 10 | 518,5 | 6,2509 | 13,3093 | 0,0179 | 1,79 | 0,9821 | 98,21 |
| 12 | 545,5 | 6,3017 | 13,6823 | 0,0160 | 1,60 | 0,9840 | 98,40 |
| 14 | 473,5 | 6,1602 | 12,6552 | 0,0217 | 2,17 | 0,9783 | 97,83 |
| 17 | 494,5 | 6,2035 | 12,9658 | 0,0198 | 1,98 | 0,9802 | 98,02 |
| 19 | 545,5 | 6,3017 | 13,6823 | 0,0160 | 1,60 | 0,9840 | 98,40 |
| 21 | 473,5 | 6,1602 | 12,6552 | 0,0217 | 2,17 | 0,9783 | 97,83 |
| 24 | 494,5 | 6,2035 | 12,9658 | 0,0198 | 1,98 | 0,9802 | 98,02 |
| 26 | 473,5 | 6,1602 | 12,6552 | 0,0217 | 2,17 | 0,9783 | 97,83 |
| 28 | 545,5 | 6,3017 | 13,6823 | 0,0160 | 1,60 | 0,9840 | 98,40 |
| 31 | 681,5 | 6,5243 | 15,3786 | 0,0095 | 0,95 | 0,9905 | 99,05 |
| | Σ | 80,6851 | 169,4036 | | | | |

Fuente: Autor

Con los datos obtenidos en la Tabla 4.66, procedemos a realizar las Figuras Fiabilidad R (t) vs Tiempo de operación e Infiabilidad F (t) vs Tiempo de operación, respectivamente:

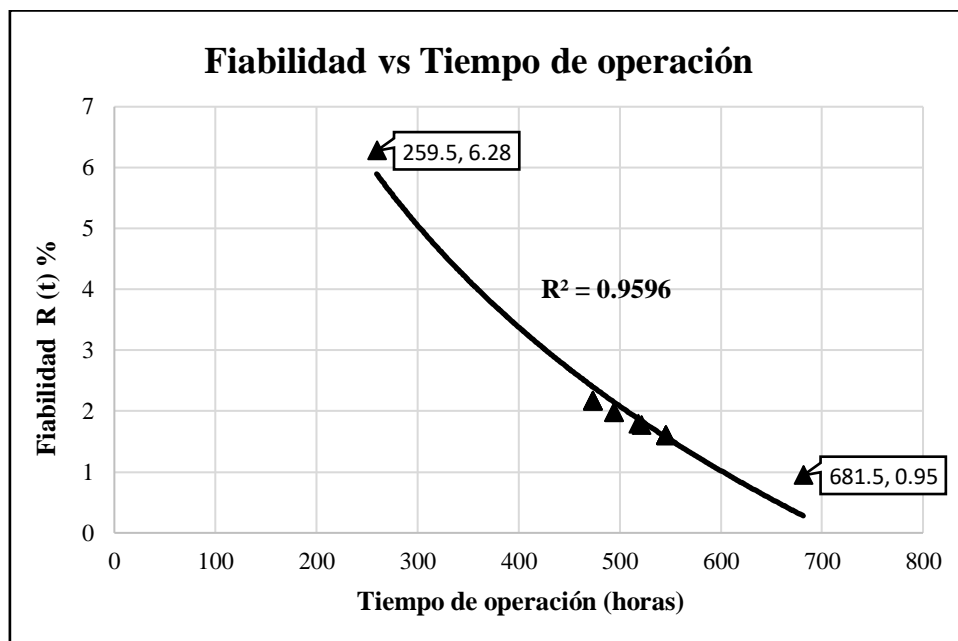


Fig. 4. 26. Fiabilidad de Weibull impresora de tubería

Fuente: Autor

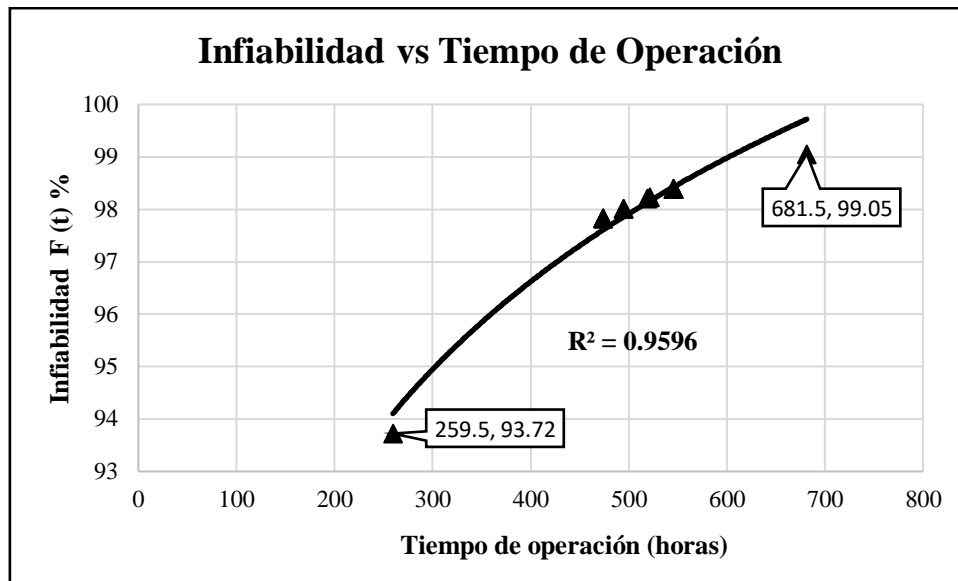


Fig. 4. 27. Infiabilidad de Weibull impresora de tubería
Fuente: Autor

De las gráficas obtenidas se puede concluir:

- Se puede identificar en la gráfica de fiabilidad (Figura 4.26) que los datos se encuentran correlacionados de forma que describen una tendencia logarítmica.
- El coeficiente de correlación múltiple es igual a 1 ($R = 0,9596$), esto quiere decir que los datos se encuentran correlacionados en una tendencia logarítmica permitiendo así describir una curva de fiabilidad adecuada para el análisis de disponibilidad.
- El porcentaje de fiabilidad máximo según el modelo matemático es de 6,28% con un tiempo de operación de 259,5 h.
- El porcentaje de fiabilidad mínimo según el modelo matemático es de 0.95% con un tiempo de operación de 681,5 h.
- De la gráfica se puede deducir que a mayor tiempo de operación la fiabilidad de los componentes es menor debido al desgaste y fallas que pueden presentar.
- En la gráfica obtenida a partir del modelo matemático se puede identificar que la impresora de tubería se encuentra en la fase 1 de la curva de la bañera (Fase de rodaje o mortalidad infantil), esto explica que la tasa de fallos sea decreciente.

4.6.7. Método matemático de Weibull transportador hidráulico

Para el cálculo del modelo matemático de Weibull en la Impresora de tubería se tomó en consideración las mismas ecuaciones (Ec 2.9 a 2.13) y las actividades descritas en la Tabla 4.67, sabiendo que por cada actividad se encontró una falla, obteniendo así los parámetros iniciales siguientes:

Tabla 4. 67. Datos estadísticos Transportador Hidráulico.

| Nº FALLAS | ACTIVIDAD | FECHA | DÍAS | t _o (Horas) |
|-----------|--|------------------|------|------------------------|
| | Inicio del análisis | 2/5/2017 | 0 | 0 |
| 1 | Cambiar de empaques en mal estado | 29/5/2017 | 19 | 152 |
| 1 | Reposición de seguros averiados | 26/6/2017 | 20 | 158,5 |
| 1 | Cambiar de aceite de bomba hidráulica | 24/7/2017 | 20 | 157 |
| 2 | Cambiar de pernos aislados | 14/8/2017 | 15 | 116 |
| | Cambiar de rodamientos | 28/8/2017 | 10 | 78,5 |
| 1 | Cambiar de llantas | 27/11/2017 | 65 | 517 |
| 1 | Reparación del sistema de accenso y descenso | 12/3/2018 | 74 | 587 |
| 1 | Soldar y pintar la estructura | 7/5/2018 | 38 | 297 |
| | Fin del análisis | 31/5/2018 | 3 | 18 |

Fuente: Autor

Tabla 4. 68. Datos estadísticos Transportador Hidráulico.

| Nº Falla | T _o | ln(t _o) |
|----------|----------------|---------------------|
| 1 | 152,0 | 5,0239 |
| 2 | 158,5 | 5,0658 |
| 3 | 157,0 | 5,0562 |
| 5 | 194,5 | 5,2704 |
| 6 | 517,0 | 6,2480 |
| 7 | 587,0 | 6,3750 |
| 8 | 297,0 | 5,6937 |
| | Σ | 38,7331 |

Fuente: Autor

Con los datos de la Tabla 4.68, se calculó sumatoria del ln (t_o) para posteriormente obtener el valor de la media aritmética:

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

$$\bar{x} = \frac{38,7331}{8} = 4,8416$$

Posteriormente calculamos la varianza a partir de la media obtenida con los datos que se expresan en la Tabla 4.69.

Tabla 4. 69. Cálculo de parámetros requeridos Transportador Hidráulico.

| Nº Falla | t_o | $\ln(t_o)$ | $(\ln(t_o) - \bar{x})^2$ |
|----------|----------|----------------|--------------------------|
| 1 | 152,0 | 5,0239 | 0,0332 |
| 2 | 158,5 | 5,0658 | 0,0502 |
| 3 | 157,0 | 5,0562 | 0,0461 |
| 5 | 194,5 | 5,2704 | 0,1839 |
| 6 | 517,0 | 6,2480 | 1,9780 |
| 7 | 587,0 | 6,3750 | 2,3513 |
| 8 | 297,0 | 5,6937 | 0,7261 |
| | Σ | 38,7331 | 5,3687 |

Fuente: Autor

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

$$S^2 = \frac{5,3687}{(8 - 1)} = \mathbf{0,7670}$$

Obtenido el valor de la varianza procedemos a calcular la desviación:

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

$$S = \sqrt{0,7670} = \mathbf{0,8758}$$

Con los valores cálculos procedemos a calcular los parámetros para la ecuación de Weibull:

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

$$\beta = \frac{\pi}{(0,8758)\sqrt{6}}$$

$$\beta = \mathbf{1,4645}$$

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

$$\alpha = \exp\left(4,8416 + \left(\frac{0,5772}{1,4645}\right)\right)$$

$$\alpha = \mathbf{187,8730}$$

Tabla 4. 70. Parámetros iniciales Transportador Hidráulico.

| | |
|--|----------|
| Media aritmética | 4,8416 |
| Varianza S^2 | 0,7670 |
| Desviación S | 0,8758 |
| Parámetro de forma (β) | 1,4645 |
| Parámetro de escala (α) | 187,8730 |
| Parámetro de localización (γ) | 0 |

Fuente: Autor

Una vez determinado los parámetros iniciales, se procede a calcular la Fiabilidad y la Infiabilidad de Weibull con las ecuaciones 2.7 y 2.8.

Tabla 4. 71. Cálculo de Fiabilidad de Weibull Transportador Hidráulico.

| Nº Falla | t_o | $\ln(t_o)$ | $(\ln(t_o) - \bar{x})^2$ | R(t) | R(t) % | F(t) | F(t) % |
|----------|----------|----------------|--------------------------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | 152,0 | 5,0239 | 0,0332 | 0,4209 | 42,09 | 0,5791 | 57,91 |
| 2 | 158,5 | 5,0658 | 0,0502 | 0,4105 | 41,05 | 0,5895 | 58,95 |
| 3 | 157,0 | 5,0562 | 0,0461 | 0,4129 | 41,29 | 0,5871 | 58,71 |
| 5 | 194,5 | 5,2704 | 0,1839 | 0,3592 | 35,92 | 0,6408 | 64,08 |
| 6 | 517,0 | 6,2480 | 1,9780 | 0,1359 | 13,59 | 0,8641 | 86,41 |
| 7 | 587,0 | 6,3750 | 2,3513 | 0,1134 | 11,34 | 0,8866 | 88,66 |
| 8 | 297,0 | 5,6937 | 0,7261 | 0,2548 | 25,48 | 0,7452 | 74,52 |
| | Σ | 38,7331 | 5,3687 | | | | |

Fuente: Autor

Con los datos obtenidos en la Tabla 4.71, procedemos a realizar las Figuras Fiabilidad R (t) vs Tiempo de operación e Infiabilidad F (t) vs Tiempo de operación, respectivamente:

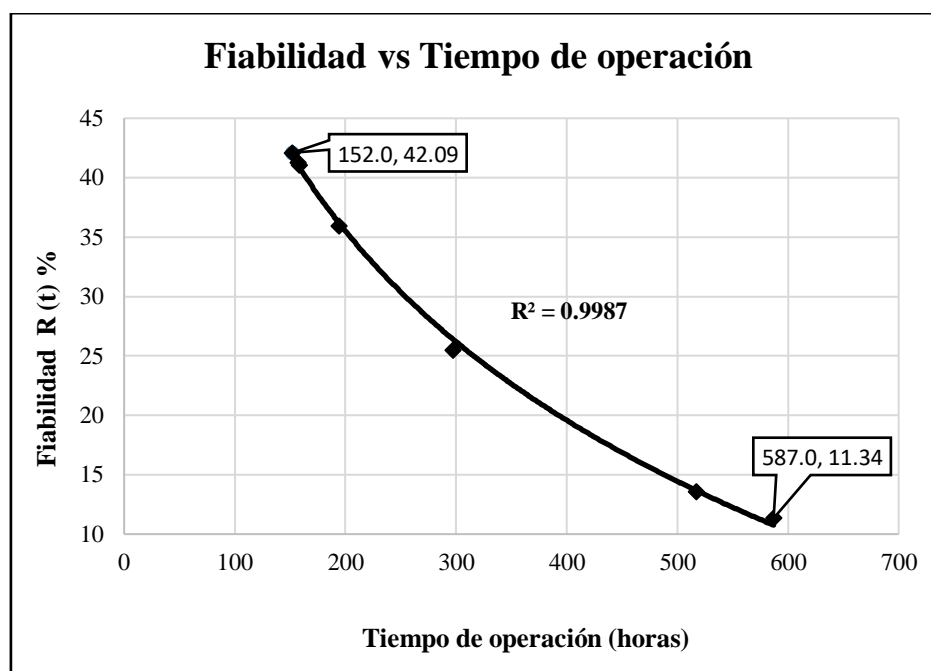


Fig. 4. 28. Fiabilidad de Weibull Transportador Hidráulico

Fuente: Autor

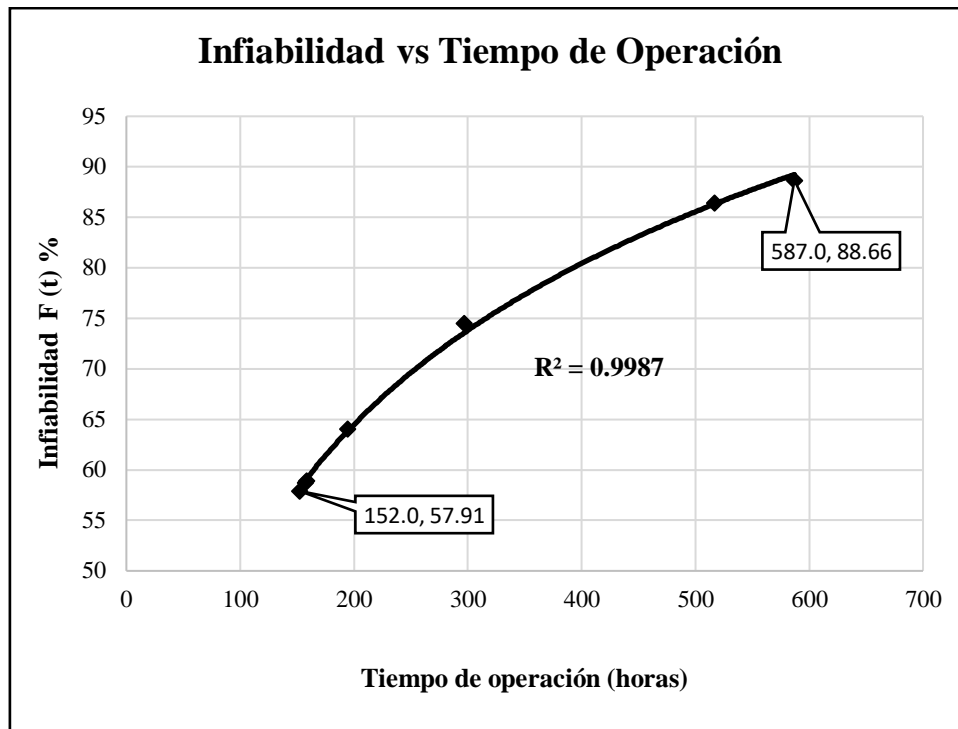


Fig. 4. 29. Infiabilidad Transportador Hidráulico
Fuente: Autor

De las gráficas obtenidas se puede concluir:

- Se pudo identificar en la gráfica de fiabilidad (Figura 4.28) que los datos se encuentran correlacionados de forma que describen una tendencia logarítmica.
- El coeficiente de correlación múltiple es igual a 1 ($R = 0,9987$), esto quiere decir que los datos se encuentran correlacionados en una tendencia logarítmica permitiendo así describir una curva de fiabilidad adecuada para el análisis de disponibilidad.
- El porcentaje de fiabilidad máximo según el modelo matemático es de 42,09% con un tiempo de operación de 152 h.
- El porcentaje de fiabilidad mínimo según el modelo matemático es de 11,34% con un tiempo de operación de 587 h.
- De la gráfica se puede deducir que a mayor tiempo de operación la fiabilidad de los componentes es menor debido al desgaste y fallas que pueden presentar.
- En la gráfica obtenida a partir del modelo matemático se puede identificar que el transporte hidráulico se encuentra en la fase 1 de la curva de la bañera (Fase de rodaje o mortalidad infantil), esto explica que la tasa de fallos sea decreciente.

4.7. Determinación de fiabilidad mediante el método gráfico de Weibull, representación y análisis de gráficas.

Una vez desarrollado el modelo matemático de Weibull ya se dispone de un criterio técnico para interpretar su análisis, es decir se puede identificar de manera Figura los parámetros que intervienen en el desarrollo del análisis Weibull para ello seguiremos el procedimiento descrito en el capítulo II.

4.7.1. Método gráfico de Weibull extrusora AMUT 94.

Para determinar la fiabilidad de la extrusora mediante el método grafico se considera el papel Weibull y los datos de tiempos de operación descritos en la Tabla 4.23 ordenados de manera ascendente, utilizando la ecuación 2.5 se calcula el rango medio y posteriormente el valor de porcentaje de fallas acumulativa.

Tabla 4. 72. Cálculo porcentaje de falla acumulativa F (i) Extrusora AMUT 94.

| Nº Falla | t _o (h) | Rango medio | F (i) (%) |
|----------|--------------------|-------------|-----------|
| i | t | Mr | F(t) |
| 1 | 240 | 0,0343 | 3,4313 |
| 2 | 328 | 0,0833 | 8,3333 |
| 3 | 334,5 | 0,1323 | 13,2352 |
| 4 | 358,5 | 0,1813 | 18,1372 |
| 5 | 377 | 0,2303 | 23,0392 |
| 6 | 420 | 0,2794 | 27,9411 |
| 8 | 454,5 | 0,3774 | 37,7450 |
| 10 | 497 | 0,4754 | 47,5490 |
| 13 | 684 | 0,6225 | 62,2549 |
| 14 | 691 | 0,6715 | 67,1568 |
| 16 | 712 | 0,7696 | 76,9607 |
| 17 | 785 | 0,8186 | 81,8627 |
| 20 | 869,5 | 0,9656 | 96,5686 |

Fuente: Autor

Una vez determinado los pares ordenados (tiempo de operación; porcentaje de falla acumulativa) procedemos a graficar los puntos y los demás parámetros requeridos en la ecuación de weibull gráfico:

En la Tabla 4.73, se describen los parámetros obtenidos mediante la Figura 4.30.

Tabla 4. 73. Parámetros grafica de Weibull Extrusora AMUT 94.

| | |
|---------|-----|
| β | 3.4 |
| η | 540 |
| u | 600 |

Fuente: Autor

Papel Weibull aplicado a la extrusora AMUT 94

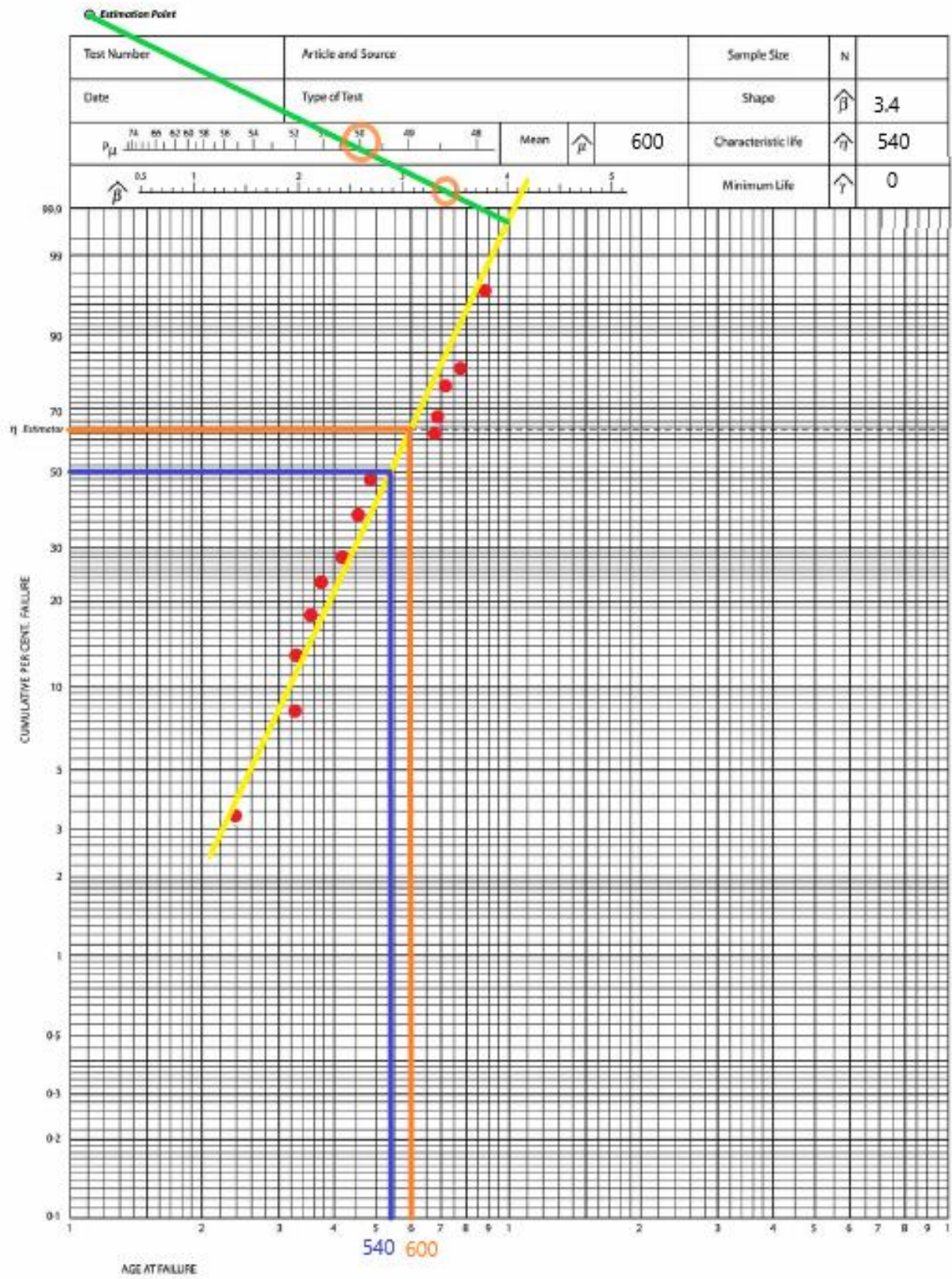


Fig. 4. 30. Papel Weibull aplicado a la extrusora AMUT 94.
Fuente: Autor

Con los parámetros de la Tabla 4.73, se procede a calcular la fiabilidad de Weibull, utilizando la ecuación 2.6.

Tabla 4. 74. Fiabilidad de Weibull Extrusora AMUT 94.

| N° Falla | t ₀ (h) | Rango medio | F (i) (%) | R(t) | R(t) % |
|----------|--------------------|-------------|-----------|--------|--------|
| 1 | 240,0 | 0,0343 | 3,4314 | 0,9385 | 93,85 |
| 2 | 328,0 | 0,0833 | 8,3333 | 0,8323 | 83,23 |
| 3 | 334,5 | 0,1324 | 13,2353 | 0,8218 | 82,18 |
| 4 | 358,5 | 0,1814 | 18,1373 | 0,7801 | 78,01 |
| 5 | 377,0 | 0,2304 | 23,0392 | 0,7447 | 74,47 |
| 6 | 420,0 | 0,2794 | 27,9412 | 0,6534 | 65,34 |
| 8 | 454,5 | 0,3775 | 37,7451 | 0,5732 | 57,32 |
| 10 | 497,0 | 0,4755 | 47,5490 | 0,4704 | 47,04 |
| 13 | 683,5 | 0,6225 | 62,2549 | 0,1077 | 10,77 |
| 14 | 691,0 | 0,6716 | 67,1569 | 0,0990 | 9,90 |
| 16 | 712,0 | 0,7696 | 76,9608 | 0,0773 | 7,73 |
| 17 | 785,0 | 0,8186 | 81,8627 | 0,0282 | 2,82 |
| 20 | 869,5 | 0,9657 | 96,5686 | 0,0064 | 0,64 |

Fuente: El autor

Con los datos de la Tabla 4.74, procedemos a realizar la Figura de fiabilidad vs tiempo de operación:

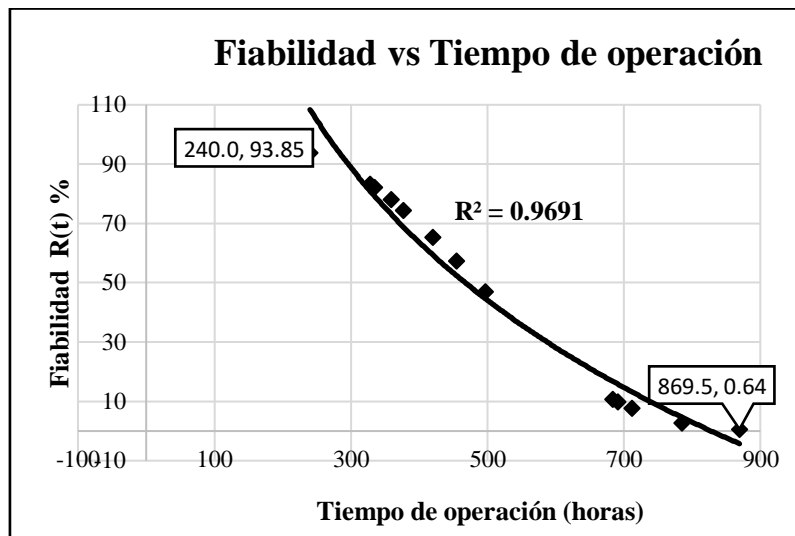


Fig. 4. 31. Fiabilidad de Weibull Extrusora AMUT 94.

Fuente: Autor

De la gráfica podemos concluir:

- Se puede identificar en la Figura 4.31 de fiabilidad de Weibull, según el método gráfico, que los datos se encuentran correlacionados de forma que describen una tendencia logarítmica.

- El coeficiente de correlación múltiple es cercano a 1 ($R = 0.9691$), esto quiere decir que los datos se encuentran correlacionados en una tendencia logarítmica permitiendo así identificar en la zona que se encuentra en referencia a la curva de la bañera.
- El porcentaje de fiabilidad máximo según el método gráfico es de 93,85% con un tiempo de operación de 240 h.
- El porcentaje de fiabilidad mínimo según el método gráfico es de 0,64% correspondiente a un tiempo de operación de 869,5 h.
- De la gráfica se puede deducir que a mayor tiempo de operación la fiabilidad de los componentes es menor debido al desgaste y fallas que pueden presentar durante este tiempo.
- En la gráfica obtenida a partir del modelo gráfico de Weibull se puede identificar que la extrusora se encuentra en la fase 1 de la curva de la bañera (Fase de rodaje o mortalidad infantil), esto explica que la tasa de fallos sea decreciente.

4.7.2. Método gráfico de weibull tina de vacío

Para determinar la fiabilidad de la Tina de vacío mediante el método gráfico se considera el papel Weibull y los datos de tiempos de operación descritos en la Tabla 4.24 ordenados de manera ascendente, utilizando la ecuación 2.5 se calcula el rango medio y posteriormente el valor de porcentaje de fallas acumulativa.

Tabla 4. 75. Cálculo porcentaje de falla acumulativa $F(i)$ Tina de vacío.

| Nº Falla | t_o (h) | Rango medio | F (i) (%) |
|----------|-----------|-------------|-----------|
| i | T | Mr | F(t) |
| 1 | 120,0 | 0,0522 | 5,2239 |
| 2 | 261,0 | 0,1269 | 12,6866 |
| 3 | 381,0 | 0,2015 | 20,1493 |
| 4 | 382,0 | 0,2761 | 27,6119 |
| 5 | 502,5 | 0,3507 | 35,0746 |
| 6 | 502,5 | 0,4254 | 42,5373 |
| 7 | 526,5 | 0,5000 | 50,0000 |
| 8 | 569,0 | 0,5746 | 57,4627 |
| 9 | 572,0 | 0,6493 | 64,9254 |
| 10 | 573,0 | 0,7239 | 72,3881 |
| 11 | 574,5 | 0,7985 | 79,8507 |
| 12 | 619,0 | 0,8731 | 87,3134 |
| 13 | 645,0 | 0,9478 | 94,7761 |

Fuente: Autor

Una vez determinado los pares ordenados (tiempo de operación; porcentaje de falla acumulativa) procedemos a graficar los puntos y los demás parámetros requeridos en la ecuación de weibull gráfico:

En la Tabla 4.76, se describen los parámetros obtenidos mediante la Figura 4.32.

Tabla 4.76. Parámetros papel de Weibull Tina de vacío.

| | |
|---------|-----|
| β | 2,3 |
| η | 510 |
| u | 560 |

Fuente: Autor

Papel Weibull aplicado a la tina de vacío

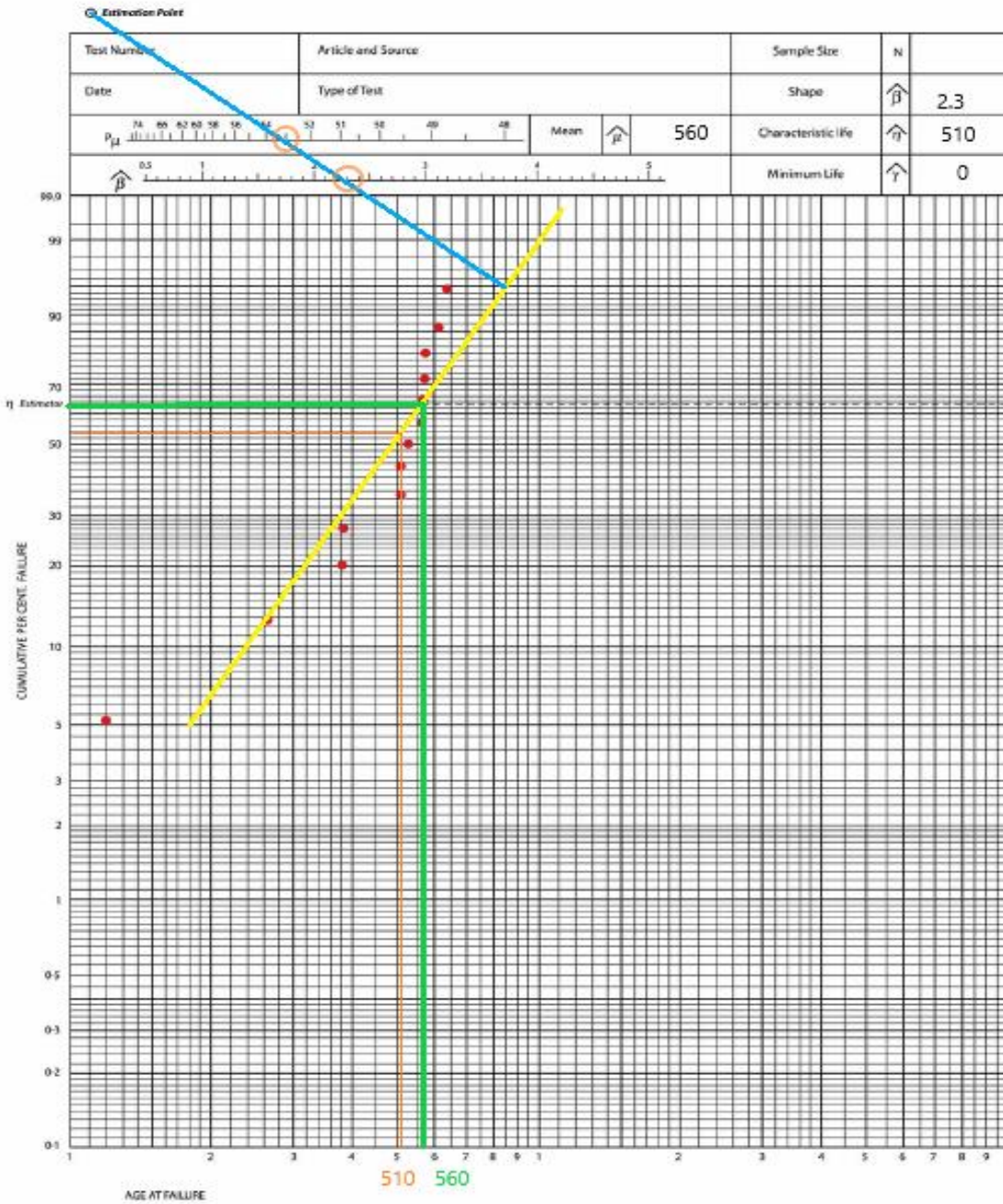


Fig. 4.32. Papel Weibull aplicado a la Tina de vacío.

Fuente: Autor

Con los parámetros de la Tabla 4.76, se procede a calcular la fiabilidad de Weibull, utilizando la ecuación 2.6.

Tabla 4. 77. Fiabilidad de Weibull Tina de vacío.

| N° Falla | t _o (h) | Rango medio | F (i) (%) | R(t) | R(t) % |
|----------|--------------------|-------------|-----------|--------|--------|
| 1 | 120,0 | 0,0522 | 5,2239 | 0,9648 | 96,48 |
| 2 | 261,0 | 0,1269 | 12,6866 | 0,8072 | 80,72 |
| 3 | 381,0 | 0,2015 | 20,1493 | 0,5997 | 59,97 |
| 4 | 382,0 | 0,2761 | 27,6119 | 0,5978 | 59,78 |
| 5 | 502,5 | 0,3507 | 35,0746 | 0,3804 | 38,04 |
| 6 | 502,5 | 0,4254 | 42,5373 | 0,3804 | 38,04 |
| 7 | 526,5 | 0,5000 | 50,0000 | 0,3410 | 34,10 |
| 8 | 569,0 | 0,5746 | 57,4627 | 0,2763 | 27,63 |
| 9 | 572,0 | 0,6493 | 64,9254 | 0,2720 | 27,20 |
| 10 | 573,0 | 0,7239 | 72,3881 | 0,2706 | 27,06 |
| 11 | 574,5 | 0,7985 | 79,8507 | 0,2685 | 26,85 |
| 12 | 619,0 | 0,8731 | 87,3134 | 0,2099 | 20,99 |
| 13 | 645,0 | 0,9478 | 94,7761 | 0,1797 | 17,97 |

Fuente: Autor

Con los datos de la Tabla 4.77, procedemos a realizar la Figura de fiabilidad vs tiempo de operación.

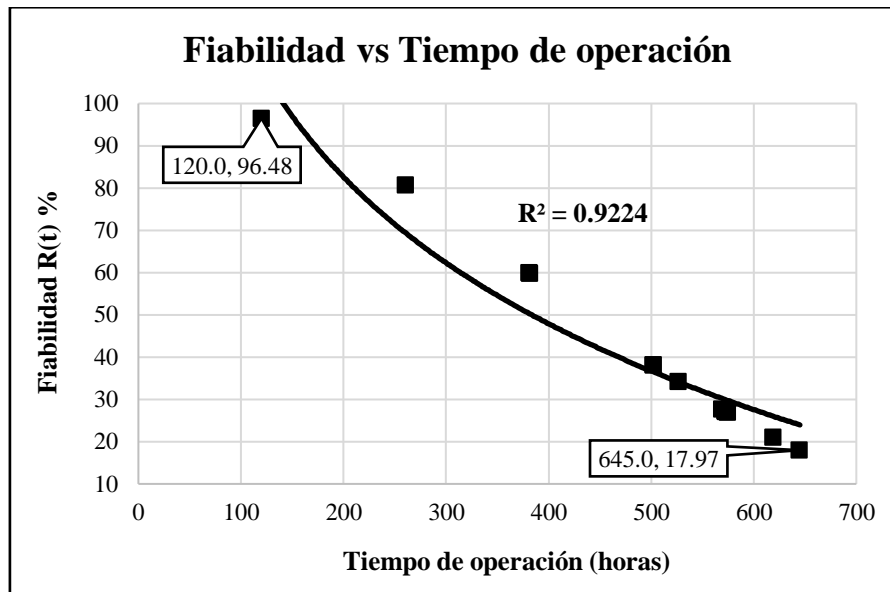


Fig. 4. 33. Fiabilidad de Weibull Tina de vacío.

Fuente: Autor

De la gráfica podemos concluir:

- Se puede identificar en la Figura 4.33 de fiabilidad de Weibull, según el método gráfico, que los datos se encuentran correlacionados de forma que describen una tendencia logarítmica.

- El coeficiente de correlación múltiple es cercano a 1 ($R = 0.9224$), esto quiere decir que los datos se encuentran correlacionados en una tendencia logarítmica permitiendo así identificar en la zona que se encuentra en referencia a la curva de la bañera.
- El porcentaje de fiabilidad máximo según el método gráfico es de 96,48% con un tiempo de operación de 120 h.
- El porcentaje de fiabilidad mínimo según el método gráfico es de 17,97% correspondiente a un tiempo de operación de 645 h.
- De la gráfica se puede deducir que a mayor tiempo de operación la fiabilidad de los componentes es menor debido al desgaste y fallas que pueden presentar durante este tiempo.
- En la gráfica obtenida a partir del modelo gráfico de Weibull se puede identificar que la tina de vacío se encuentra en la fase 1 de la curva de la bañera (Fase de rodaje o mortalidad infantil), esto explica que la tasa de fallos sea decreciente.

4.7.3. Método gráfico de Weibull halador

Para determinar la fiabilidad del Halador mediante el método gráfico se considera el papel Weibull y los datos de tiempos de operación descritos en la Tabla 4.25 ordenados de manera ascendente, utilizando la ecuación 2.5 se calcula el rango medio y posteriormente el valor de porcentaje de fallas acumulativa.

Tabla 4. 78. Cálculo porcentaje de falla acumulativa $F(i)$ Halador

| Nº Falla | to (h) | Rango medio | F (i) (%) |
|----------|----------|-------------|-------------|
| i | t | Mr | F(t) |
| 1 | 93,00 | 0,0522 | 5,2239 |
| 2 | 144,00 | 0,1269 | 12,6866 |
| 3 | 261,00 | 0,2015 | 20,1493 |
| 4 | 380,00 | 0,2761 | 27,6119 |
| 5 | 382,50 | 0,3507 | 35,0746 |
| 6 | 405,00 | 0,4254 | 42,5373 |
| 7 | 574,50 | 0,5000 | 50,0000 |
| 8 | 622,83 | 0,5746 | 57,4627 |
| 9 | 645,00 | 0,6493 | 64,9254 |
| 10 | 674,00 | 0,7239 | 72,3881 |
| 11 | 692,00 | 0,7985 | 79,8507 |
| 12 | 693,00 | 0,8731 | 87,3134 |
| 13 | 761,00 | 0,9478 | 94,7761 |

Fuente: Autor

Una vez determinado los pares ordenados (tiempo de operación; porcentaje de falla acumulativa) procedemos a graficar los puntos y los demás parámetros requeridos en la ecuación de weibull gráfico:

En la Tabla 4.79, se describen los parámetros obtenidos mediante la Figura 4.34.

Tabla 4.79. Parámetros papel de Weibull Halador.

| | |
|---------|-----|
| β | 1,9 |
| η | 500 |
| u | 560 |

Fuente: Autor

Papel Weibull aplicado al halador

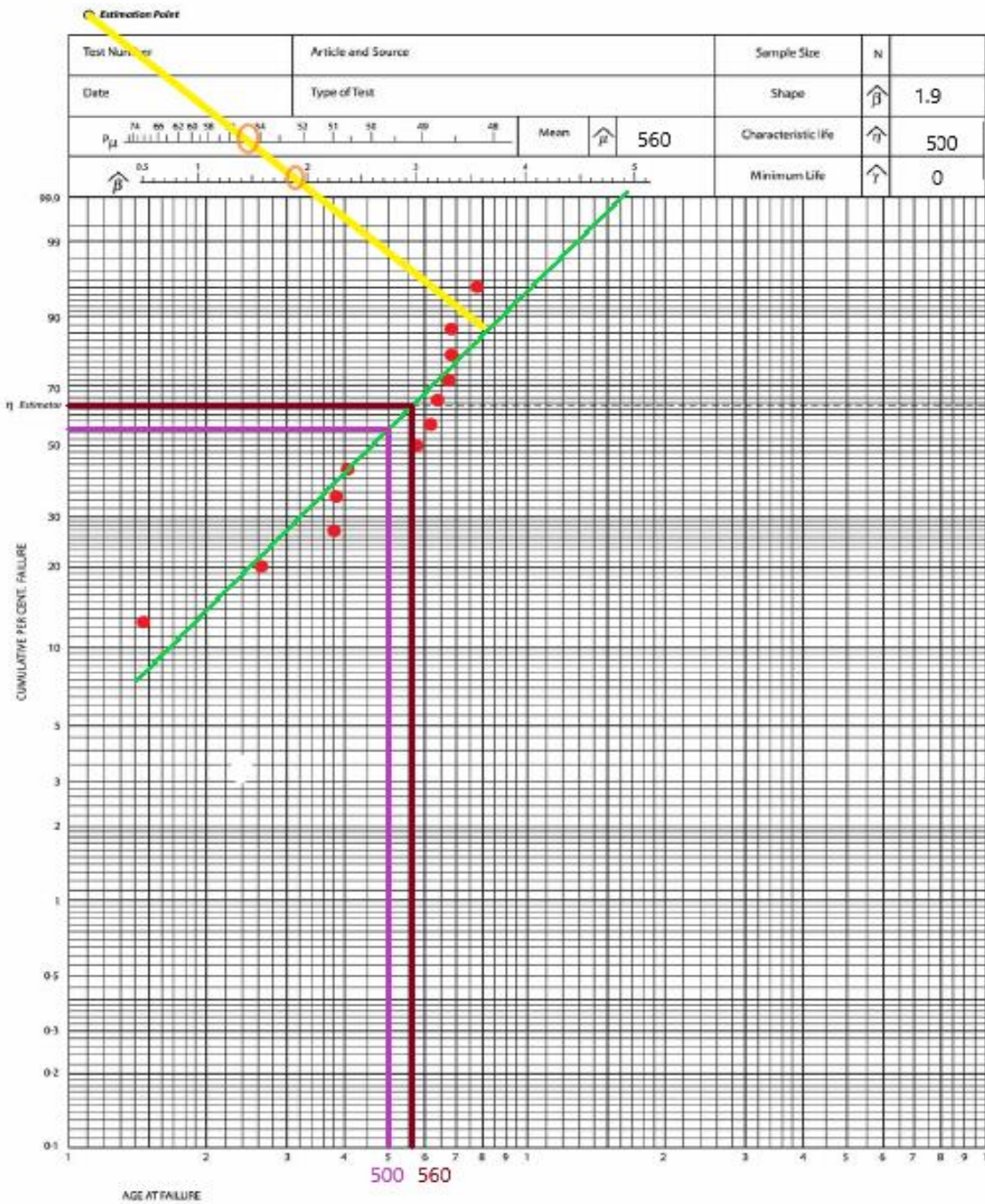


Fig. 4.34. Papel Weibull aplicado al Halador

Fuente: Autor

Con los parámetros de la Tabla 4.79, se procede a calcular la fiabilidad de Weibull, utilizando la ecuación 2.6.

Tabla 4. 80. Fiabilidad de Weibull Halador.

| N° Falla | t _o (h) | Rango medio | F (i) (%) | R(t) | R(t) % |
|----------|--------------------|-------------|-----------|--------|--------|
| 1 | 93,00 | 0,0522 | 5,2239 | 0,9599 | 95,99 |
| 2 | 144,00 | 0,1269 | 12,6866 | 0,9103 | 91,03 |
| 3 | 261,00 | 0,2015 | 20,1493 | 0,7477 | 74,77 |
| 4 | 380,00 | 0,2761 | 27,6119 | 0,5523 | 55,23 |
| 5 | 382,50 | 0,3507 | 35,0746 | 0,5482 | 54,82 |
| 6 | 405,00 | 0,4254 | 42,5373 | 0,5117 | 51,17 |
| 7 | 574,50 | 0,5000 | 50,0000 | 0,2720 | 27,20 |
| 8 | 622,83 | 0,5746 | 57,4627 | 0,2192 | 21,92 |
| 9 | 645,00 | 0,6493 | 64,9254 | 0,1975 | 19,75 |
| 10 | 674,00 | 0,7239 | 72,3881 | 0,1714 | 17,14 |
| 11 | 692,00 | 0,7985 | 79,8507 | 0,1566 | 15,66 |
| 12 | 693,00 | 0,8731 | 87,3134 | 0,1558 | 15,58 |
| 13 | 761,00 | 0,9478 | 94,7761 | 0,1085 | 10,85 |

Fuente: Autor

Con los datos de la Tabla 4.80, procedemos a realizar la Figura de fiabilidad vs tiempo de operación.

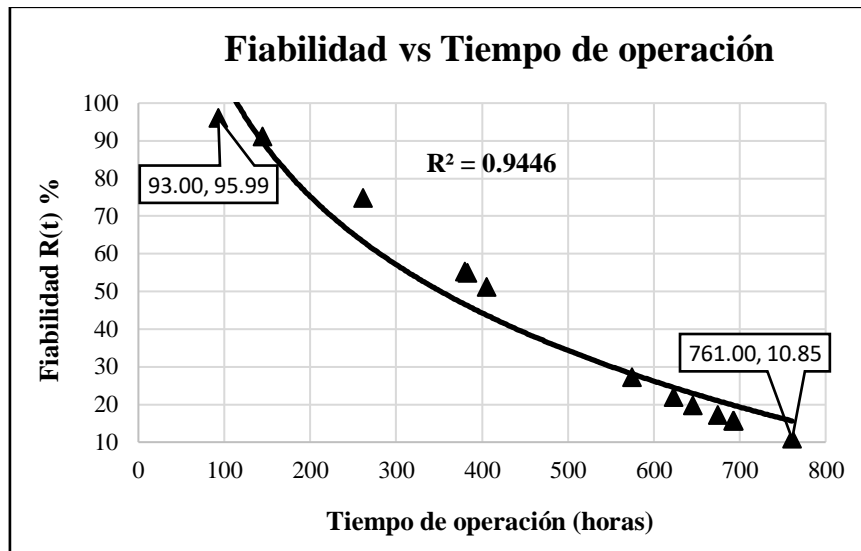


Fig. 4. 35. Fiabilidad de Weibull Halador

Fuente: Autor

De la gráfica podemos concluir:

- Se pudo identificar en la Figura 4.35 de fiabilidad de Weibull, según el método gráfico, que los datos se encuentran correlacionados de forma que describen una tendencia logarítmica.

- El coeficiente de correlación múltiple es cercano a 1 ($R = 0.9446$), esto quiere decir que los datos se encuentran correlacionados en una tendencia logarítmica permitiendo así identificar en la zona que se encuentra en referencia a la curva de la bañera.
- El porcentaje de fiabilidad máximo según el método gráfico es de 95,99% con un tiempo de operación de 93 h.
- El porcentaje de fiabilidad mínimo según el método gráfico es de 10,85% correspondiente a un tiempo de operación de 761 h.
- De la gráfica se puede deducir que a mayor tiempo de operación la fiabilidad de los componentes es menor debido al desgaste y fallas que pueden presentar durante este tiempo.
- En la gráfica obtenida a partir del modelo gráfico de Weibull se puede identificar que el halador se encuentra en la fase 1 de la curva de la bañera (Fase de rodaje o mortalidad infantil), esto explica que la tasa de fallos sea decreciente

4.7.4. Método gráfico de Weibull cortador

Para determinar la fiabilidad del Cortador mediante el método gráfico se considera el papel Weibull y los datos de tiempos de operación descritos en la Tabla 4.26 ordenados de manera ascendente, utilizando la ecuación 2.5 se calcula el rango medio y posteriormente el valor de porcentaje de fallas acumulativa.

Tabla 4. 81. Cálculo porcentaje de falla acumulativa F (i) Cortador.

| Nº Falla | to (h) | Rango medio | F (i) (%) |
|----------|--------|-------------|-----------|
| i | t | Mr | F(t) |
| 1 | 93,00 | 0,0522 | 5,2239 |
| 2 | 144,00 | 0,1269 | 12,6866 |
| 3 | 261,00 | 0,2015 | 20,1493 |
| 4 | 380,00 | 0,2761 | 27,6119 |
| 5 | 382,50 | 0,3507 | 35,0746 |
| 6 | 405,00 | 0,4254 | 42,5373 |
| 7 | 574,50 | 0,5000 | 50,0000 |
| 8 | 622,83 | 0,5746 | 57,4627 |
| 9 | 645,00 | 0,6493 | 64,9254 |
| 10 | 674,00 | 0,7239 | 72,3881 |
| 11 | 692,00 | 0,7985 | 79,8507 |
| 12 | 693,00 | 0,8731 | 87,3134 |
| 13 | 761,00 | 0,9478 | 94,7761 |

Fuente: Autor

Una vez determinado los pares ordenados (tiempo de operación; porcentaje de falla acumulativa) procedemos a graficar los puntos y los demás parámetros requeridos en la ecuación de weibull gráfico:

En la Tabla 4.82, se describen los parámetros obtenidos mediante la Figura 4.36.

Tabla 4. 82. Parámetros papel de Weibull Cortador.

| | |
|---------|-----|
| β | 3,5 |
| η | 490 |
| u | 550 |

Fuente: Autor

Papel Weibull aplicado al cortador

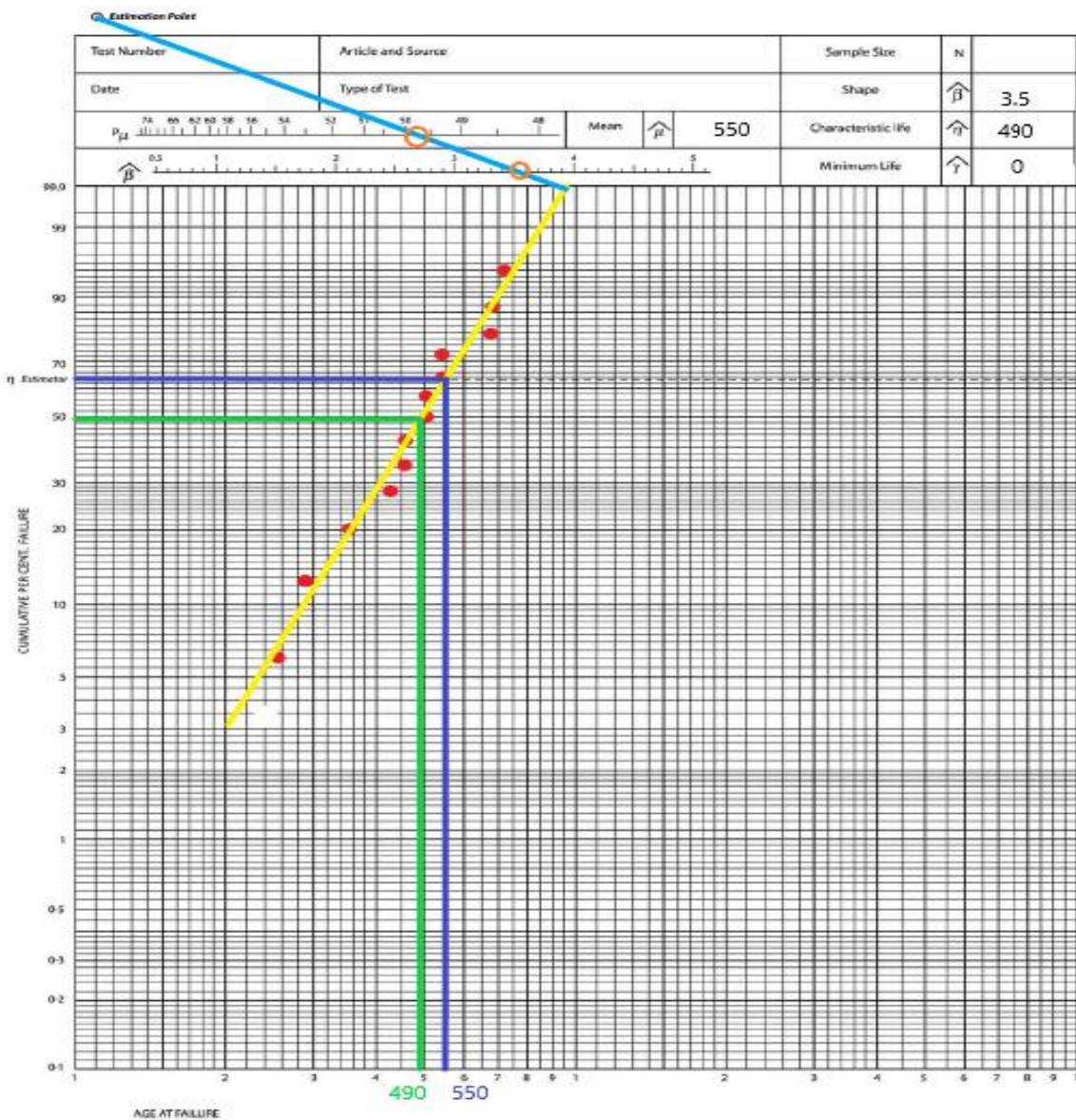


Fig. 4. 36. Papel Weibull aplicado al Cortador

Fuente: Autor

Con los parámetros de la Tabla 4.82, se procede a calcular la fiabilidad de Weibull, utilizando la ecuación 2.6.

Tabla 4. 83. Fiabilidad de Weibull Cortador.

| N° Falla | t _o (h) | Rango medio | F (i) (%) | R(t) | R(t) % |
|----------|--------------------|-------------|-----------|--------|--------|
| 1 | 93,00 | 0,0522 | 5,2239 | 0,9599 | 95,99 |
| 2 | 144,00 | 0,1269 | 12,6866 | 0,9103 | 91,03 |
| 3 | 261,00 | 0,2015 | 20,1493 | 0,7477 | 74,77 |
| 4 | 380,00 | 0,2761 | 27,6119 | 0,5523 | 55,23 |
| 5 | 382,50 | 0,3507 | 35,0746 | 0,5482 | 54,82 |
| 6 | 405,00 | 0,4254 | 42,5373 | 0,5117 | 51,17 |
| 7 | 574,50 | 0,5000 | 50,0000 | 0,2720 | 27,20 |
| 8 | 622,83 | 0,5746 | 57,4627 | 0,2192 | 21,92 |
| 9 | 645,00 | 0,6493 | 64,9254 | 0,1975 | 19,75 |
| 10 | 674,00 | 0,7239 | 72,3881 | 0,1714 | 17,14 |
| 11 | 692,00 | 0,7985 | 79,8507 | 0,1566 | 15,66 |
| 12 | 693,00 | 0,8731 | 87,3134 | 0,1558 | 15,58 |
| 13 | 761,00 | 0,9478 | 94,7761 | 0,1085 | 10,85 |

Fuente: Autor

Con los datos de la Tabla 4.83, procedemos a realizar la Figura de fiabilidad vs tiempo de operación.

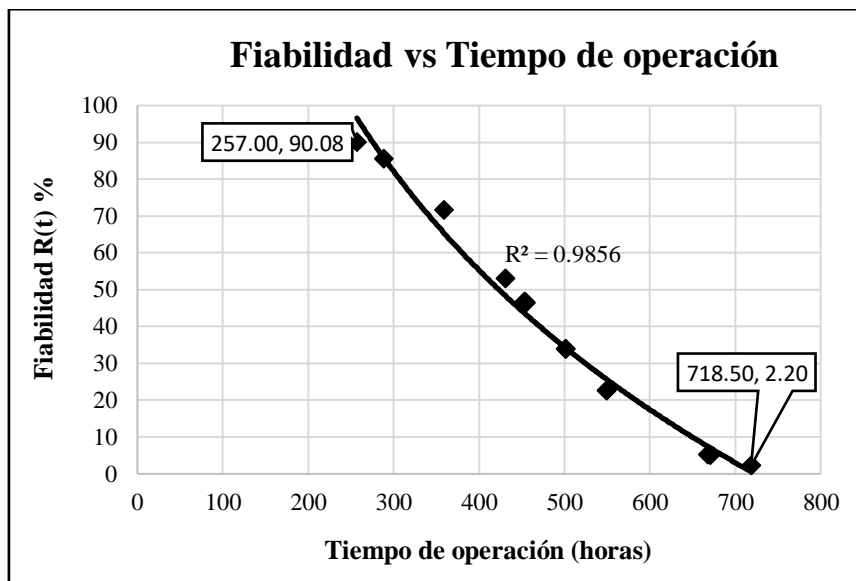


Fig. 4. 37. Fiabilidad de Weibull Cortador

Fuente: Autor

De la gráfica podemos concluir:

- Se pudo identificar en la Figura 4.37 de fiabilidad de Weibull, según el método gráfico, que los datos se encuentran correlacionados de forma que describen una tendencia logarítmica.

- El coeficiente de correlación múltiple es cercano a 1 ($R = 0.9856$), esto quiere decir que los datos se encuentran correlacionados en una tendencia logarítmica permitiendo así identificar en la zona que se encuentra en referencia a la curva de la bañera.
- El porcentaje de fiabilidad máximo según el método gráfico es de 90,08% con un tiempo de operación de 257 h.
- El porcentaje de fiabilidad mínimo según el método gráfico es de 2,20% correspondiente a un tiempo de operación de 718,50 h.
- De la gráfica se puede deducir que a mayor tiempo de operación la fiabilidad de los componentes es menor debido al desgaste y fallas que pueden presentar durante este tiempo.
- En la gráfica obtenida a partir del modelo gráfico de Weibull se puede identificar que el cortador se encuentra en la fase 1 de la curva de la bañera (Fase de rodaje o mortalidad infantil), esto explica que la tasa de fallos sea decreciente.

4.7.5. Método gráfico de Weibull acampanador

Para determinar la fiabilidad del Acampanador mediante el método gráfico se considera el papel Weibull y los datos de tiempos de operación descritos en la Tabla 4.27 ordenados de manera ascendente, utilizando la ecuación 2.5 se calcula el rango medio y posteriormente el valor de porcentaje de fallas acumulativa.

Tabla 4. 84. Cálculo porcentaje de falla acumulativa $F(i)$ Acampanador.

| Nº Falla | to (h) | Rango medio | F (i) (%) |
|----------|--------|-------------|-----------|
| i | t | Mr | F(t) |
| 1 | 120,00 | 0,0522 | 5,2239 |
| 2 | 262,50 | 0,1269 | 12,6866 |
| 3 | 381,00 | 0,2015 | 20,1493 |
| 4 | 405,00 | 0,2761 | 27,6119 |
| 5 | 429,00 | 0,3507 | 35,0746 |
| 6 | 454,75 | 0,4254 | 42,5373 |
| 7 | 499,00 | 0,5000 | 50,0000 |
| 8 | 573,00 | 0,5746 | 57,4627 |
| 9 | 574,50 | 0,6493 | 64,9254 |
| 10 | 574,50 | 0,7239 | 72,3881 |
| 11 | 621,00 | 0,7985 | 79,8507 |
| 12 | 691,00 | 0,8731 | 87,3134 |
| 13 | 694,75 | 0,9478 | 94,7761 |

Fuente: Autor

Una vez determinado los pares ordenados (tiempo de operación; porcentaje de falla acumulativa) procedemos a graficar los puntos y los demás parámetros requeridos en la ecuación de weibull gráfico.

En la Tabla 4.85, se describen los parámetros obtenidos mediante la Figura 4.38.

Tabla 4. 85. Parámetros papel de Weibull Acampanador.

| | |
|---------|-----|
| β | 2,7 |
| η | 490 |
| u | 555 |

Fuente: Autor

Papel Weibull aplicado al acampanador

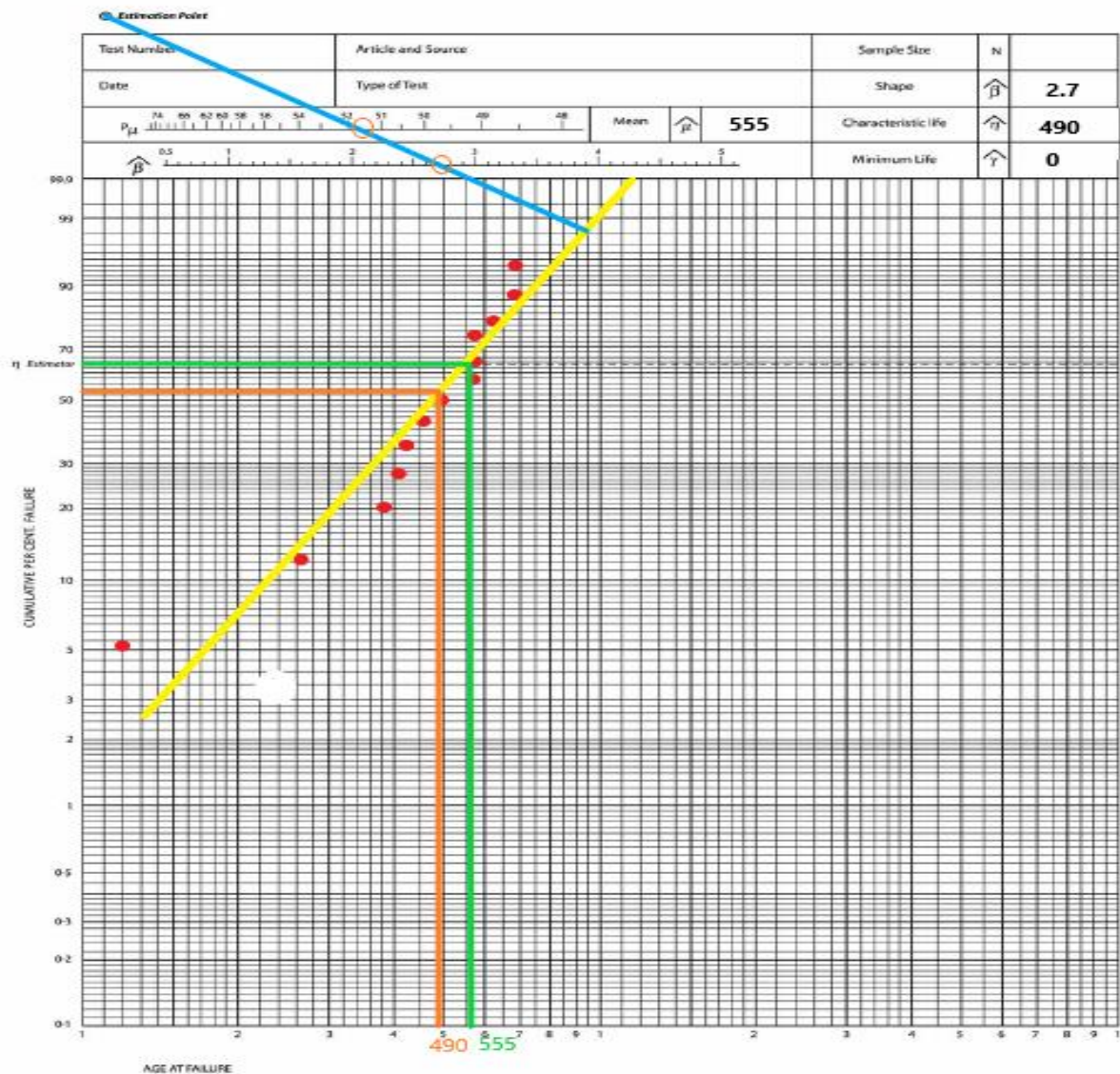


Fig. 4. 38. Papel Weibull aplicado al Acampanador

Fuente: Autor

Con los parámetros de la Tabla 4.85, se procede a calcular la fiabilidad de Weibull, utilizando la ecuación 2.6.

Tabla 4. 86. Fiabilidad de Weibull Acampanador.

| N° Falla | t _o (h) | Rango medio | F (i) (%) | R(t) | R(t) % |
|----------|--------------------|-------------|-----------|--------|--------|
| 1 | 120,00 | 0,0522 | 5,2239 | 0,9778 | 97,78 |
| 2 | 262,50 | 0,1269 | 12,6866 | 0,8308 | 83,08 |
| 3 | 381,00 | 0,2015 | 20,1493 | 0,6023 | 60,23 |
| 4 | 405,00 | 0,2761 | 27,6119 | 0,5500 | 55,00 |
| 5 | 429,00 | 0,3507 | 35,0746 | 0,4974 | 49,74 |
| 6 | 454,75 | 0,4254 | 42,5373 | 0,4416 | 44,16 |
| 7 | 499,00 | 0,5000 | 50,0000 | 0,3498 | 34,98 |
| 8 | 573,00 | 0,5746 | 57,4627 | 0,2175 | 21,75 |
| 9 | 574,50 | 0,6493 | 64,9254 | 0,2151 | 21,51 |
| 10 | 574,50 | 0,7239 | 72,3881 | 0,2151 | 21,51 |
| 11 | 621,00 | 0,7985 | 79,8507 | 0,1502 | 15,02 |
| 12 | 691,00 | 0,8731 | 87,3134 | 0,0797 | 7,97 |
| 13 | 694,75 | 0,9478 | 94,7761 | 0,0768 | 7,68 |

Fuente: Autor

Con los datos de la Tabla 4.86, procedemos a realizar la Figura de fiabilidad vs tiempo de operación.

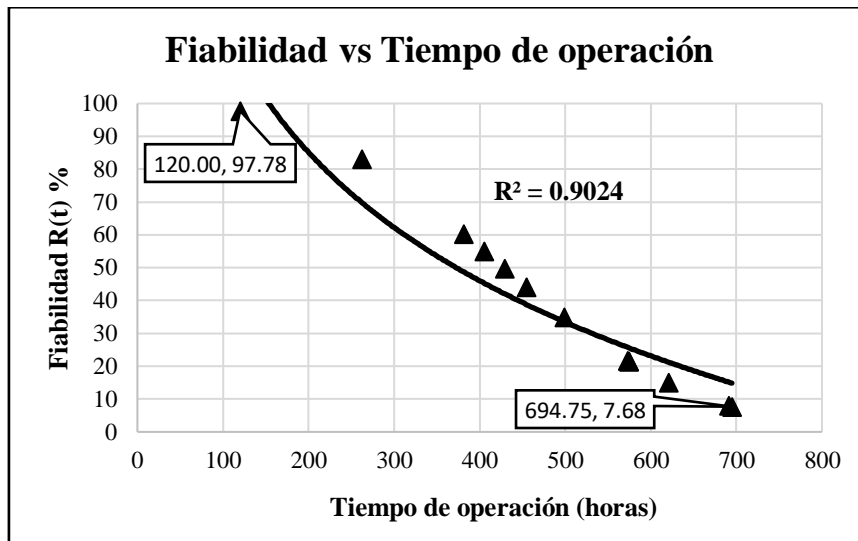


Fig. 4. 39. Fiabilidad de Weibull Acampanador

Fuente: Autor

De la gráfica podemos concluir:

- Se pudo identificar en la Figura 4.39 de fiabilidad de Weibull, según el método gráfico, que los datos se encuentran correlacionados de forma que describen una tendencia logarítmica.

- El coeficiente de correlación múltiple es cercano a 1 ($R = 0.9024$), esto quiere decir que los datos se encuentran correlacionados en una tendencia logarítmica permitiendo así identificar en la zona que se encuentra en referencia a la curva de la bañera.
- El porcentaje de fiabilidad máximo según el método gráfico es de 97,78% con un tiempo de operación de 120 h.
- El porcentaje de fiabilidad mínimo según el método gráfico es de 7,68% correspondiente a un tiempo de operación de 694,75 h.
- De la gráfica se puede deducir que a mayor tiempo de operación la fiabilidad de los componentes es menor debido al desgaste y fallas que pueden presentar durante este tiempo.
- En la gráfica obtenida a partir del modelo gráfico de Weibull se puede identificar que el acampanador se encuentra en la fase 1 de la curva de la bañera (Fase de rodaje o mortalidad infantil), esto explica que la tasa de fallos sea decreciente.

4.7.6. Método gráfico de Weibull impresora de tubería

Para determinar la fiabilidad de la impresora de tubería mediante el método gráfico se considera el papel Weibull y los datos de tiempos de operación descritos en la Tabla 4.28 ordenados de manera ascendente, utilizando la ecuación 2.5 se calcula el rango medio y posteriormente el valor de porcentaje de fallas acumulativa.

Tabla 4. 87. Cálculo porcentaje de falla acumulativa $F(i)$ Impresora de tubería.

| Nº Falla | to (h) | Rango medio | F (i) (%) |
|----------|--------|-------------|-----------|
| i | t | Mr | F(t) |
| 3 | 259,5 | 0,0860 | 8,5987 |
| 5 | 473,5 | 0,1497 | 14,9682 |
| 7 | 473,5 | 0,2134 | 21,3376 |
| 10 | 473,5 | 0,3089 | 30,8917 |
| 12 | 494,5 | 0,3726 | 37,2611 |
| 14 | 494,5 | 0,4363 | 43,6306 |
| 17 | 518,5 | 0,5318 | 53,1847 |
| 19 | 521,5 | 0,5955 | 59,5541 |
| 21 | 545,5 | 0,6592 | 65,9236 |
| 24 | 545,5 | 0,7548 | 75,4777 |
| 26 | 545,5 | 0,8185 | 81,8471 |
| 28 | 545,5 | 0,8822 | 88,2166 |
| 31 | 681,5 | 0,9777 | 97,7707 |

Fuente: Autor

Una vez determinado los pares ordenados (tiempo de operación; porcentaje de falla acumulativa) procedemos a graficar los puntos y los demás parámetros requeridos en la ecuación de weibull gráfico:

En la Tabla 4.88, se describen los parámetros obtenidos mediante la Figura 4.40.

Tabla 4. 88. Parámetros papel de Weibull Impresora de tubería.

| | |
|---------|-----|
| β | 1,5 |
| η | 290 |
| u | 320 |

Fuente: Autor

Papel Weibull aplicado a la impresora de tubería

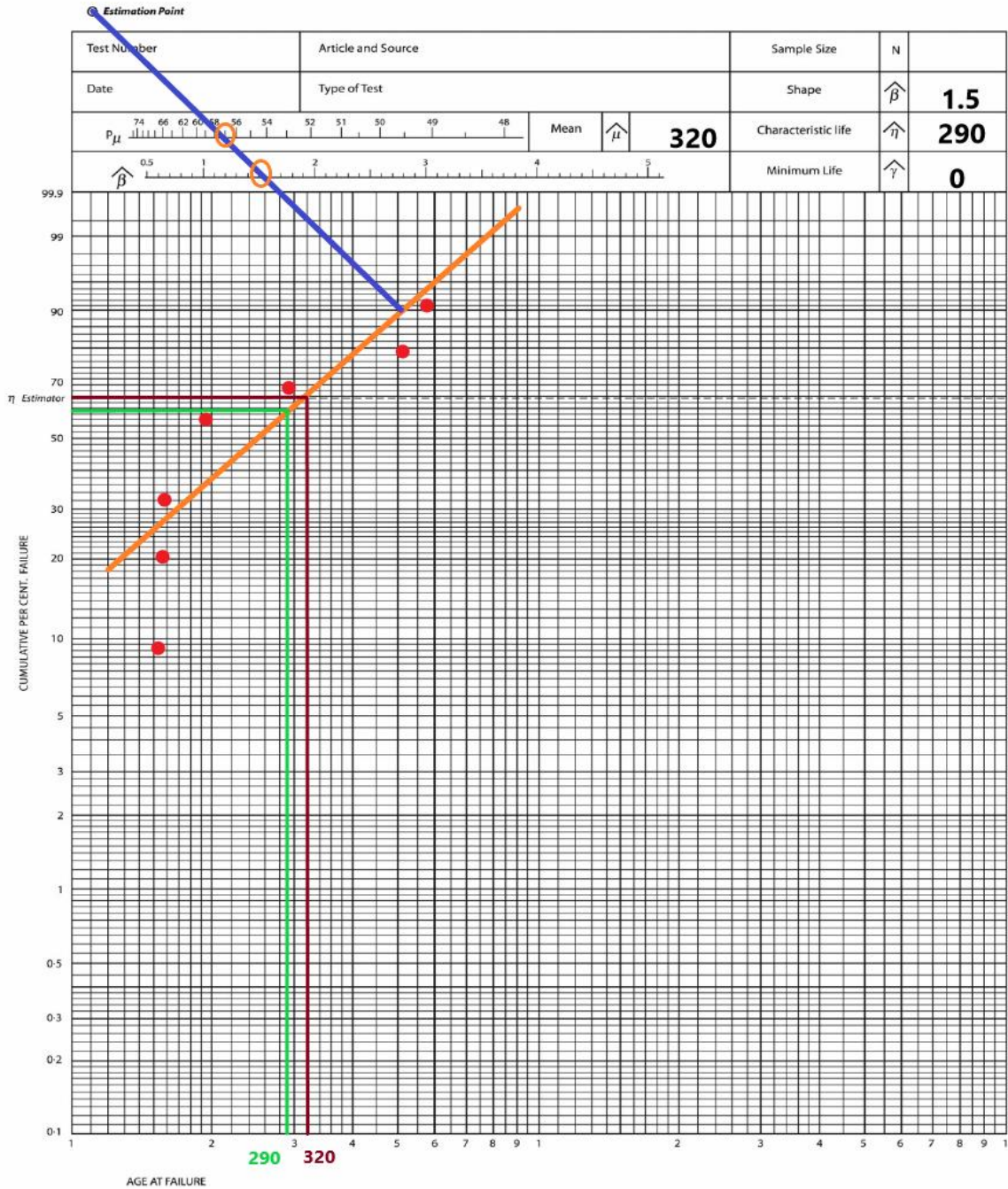


Fig. 4. 40. Papel Weibull aplicado a la Impresora de tubería.

Fuente: Autor

Con los parámetros de la Tabla 4.88, se procede a calcular la fiabilidad de Weibull, utilizando la ecuación 2.6

Tabla 4. 89. Fiabilidad de Weibull Impresora de tubería.

| N° Falla | t _o (h) | Rango medio | F (i) (%) | R(t) | R(t) % |
|----------|--------------------|-------------|-----------|--------|--------|
| 3 | 259,5 | 0,0860 | 8,5987 | 0,4289 | 42,89 |
| 5 | 473,5 | 0,1497 | 14,9682 | 0,1241 | 12,41 |
| 7 | 473,5 | 0,2134 | 21,3376 | 0,1241 | 12,41 |
| 10 | 473,5 | 0,3089 | 30,8917 | 0,1241 | 12,41 |
| 12 | 494,5 | 0,3726 | 37,2611 | 0,1079 | 10,79 |
| 14 | 494,5 | 0,4363 | 43,6306 | 0,1079 | 10,79 |
| 17 | 518,5 | 0,5318 | 53,1847 | 0,0916 | 9,16 |
| 19 | 521,5 | 0,5955 | 59,5541 | 0,0897 | 8,97 |
| 21 | 545,5 | 0,6592 | 65,9236 | 0,0758 | 7,58 |
| 24 | 545,5 | 0,7548 | 75,4777 | 0,0758 | 7,58 |
| 26 | 545,5 | 0,8185 | 81,8471 | 0,0758 | 7,58 |
| 28 | 545,5 | 0,8822 | 88,2166 | 0,0758 | 7,58 |
| 31 | 681,5 | 0,9777 | 97,7707 | 0,0273 | 2,73 |

Fuente: Autor

Con los datos de la Tabla 4.89, procedemos a realizar la Figura de fiabilidad vs tiempo de operación:

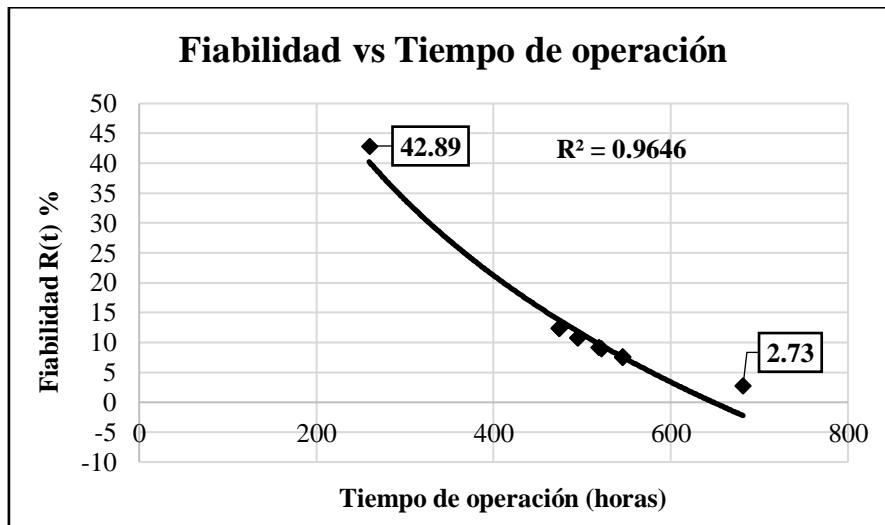


Fig. 4. 41. Fiabilidad de Weibull Impresora de tubería.

Fuente: Autor

De la gráfica podemos concluir:

- Se puede identificar en la Figura 4.41 de fiabilidad de Weibull, según el método gráfico, que los datos se encuentran correlacionados de forma que describen una tendencia logarítmica.
- El coeficiente de correlación múltiple es cercano a 1 ($R = 0,9024$), esto quiere decir que los datos se encuentran correlacionados en una tendencia logarítmica permitiendo así identificar en la zona que se encuentra en referencia a la curva de la bañera.

- El porcentaje de fiabilidad máximo según el método gráfico es de 97,78% con un tiempo de operación de 120 h.
- El porcentaje de fiabilidad mínimo según el método gráfico es de 7,68% correspondiente a un tiempo de operación de 694,75 h.
- De la gráfica se puede deducir que a mayor tiempo de operación la fiabilidad de los componentes es menor debido al desgaste y fallas que pueden presentar durante este tiempo.
- En la gráfica obtenida a partir del modelo gráfico de Weibull se puede identificar que el acampanador se encuentra en la fase 1 de la curva de la bañera (Fase de rodaje o mortalidad infantil), esto explica que la tasa de fallos sea decreciente.

4.7.7. Método gráfico de Weibull transporte hidráulico

Para determinar la fiabilidad de la impresora de tubería mediante el método gráfico se considera el papel Weibull y los datos de tiempos de operación descritos en la Tabla 4.29 ordenados de manera ascendente, utilizando la ecuación 2.5 se calcula el rango medio y posteriormente el valor de porcentaje de fallas acumulativa.

Tabla 4. 90. Cálculo porcentaje de falla acumulativa F (i) Transporte Hidráulico.

| Nº Falla | to (h) | Rango medio | F (i) (%) |
|----------|--------|-------------|-----------|
| i | t | Mr | F(t) |
| 1 | 152,0 | 0,0833 | 8,3333 |
| 2 | 157,0 | 0,2024 | 20,2381 |
| 3 | 158,5 | 0,3214 | 32,1429 |
| 5 | 194,5 | 0,5595 | 55,9524 |
| 6 | 297,0 | 0,6786 | 67,8571 |
| 7 | 517,0 | 0,7976 | 79,7619 |
| 8 | 587,0 | 0,9167 | 91,6667 |

Fuente: Autor

Una vez determinado los pares ordenados (tiempo de operación; porcentaje de falla acumulativa) procedemos a graficar los puntos y los demás parámetros requeridos en la ecuación de weibull gráfico:

En la Tabla 4.91, se describen los parámetros obtenidos mediante la Figura 4.42.

Tabla 4. 91. Parámetros papel de Weibull Transporte Hidráulico.

| | |
|---------|-----|
| β | 3,4 |
| η | 500 |
| u | 550 |

Fuente: Autor

Papel Weibull aplicado al transporte hidráulico

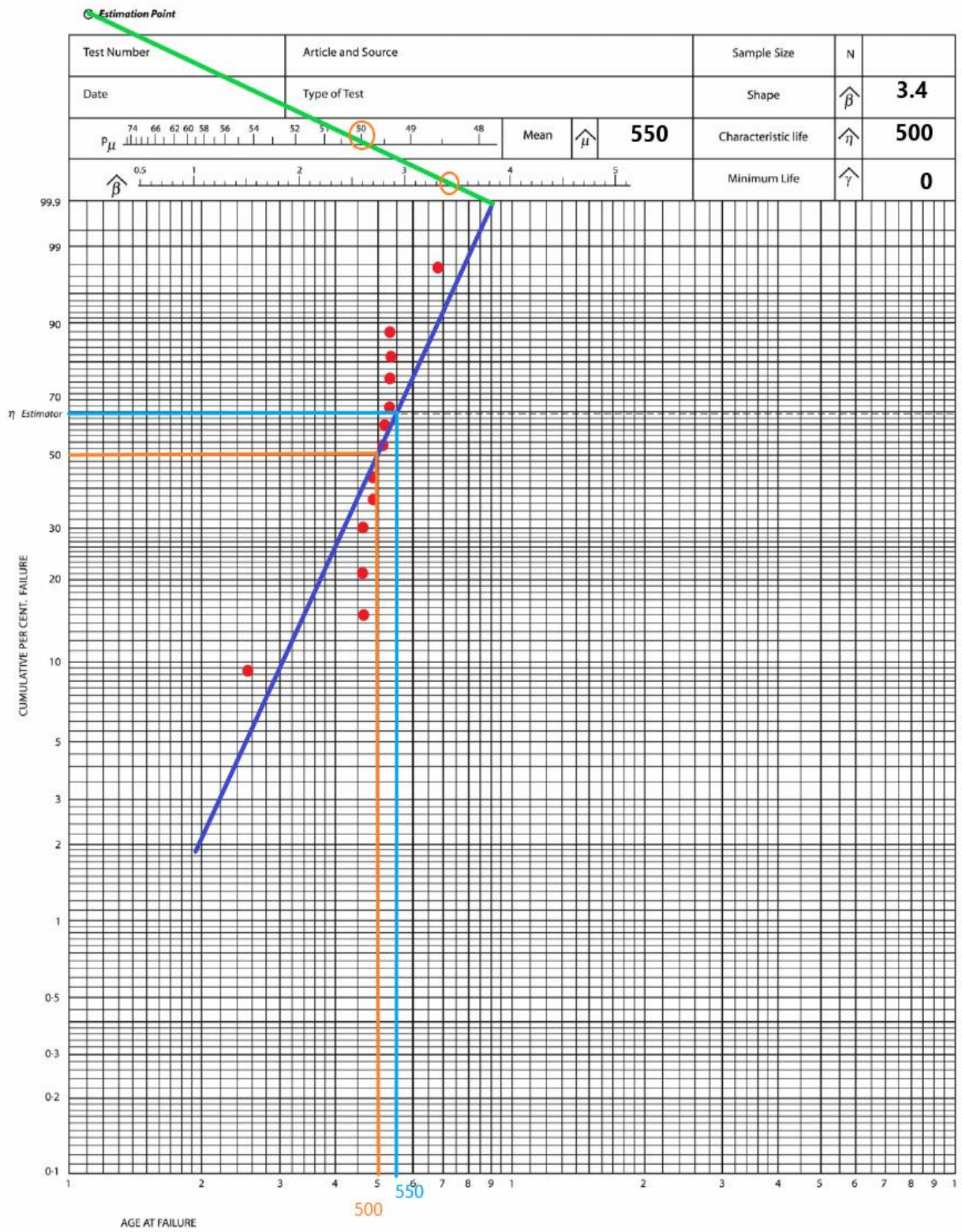


Fig. 4. 42. Papel Weibull aplicado al Transporte Hidráulico.
Fuente: Autor

Con los parámetros de la Tabla 4.91, se procede a calcular la fiabilidad de Weibull, utilizando la ecuación 2.6

Tabla 4. 92. Fiabilidad de Weibull Transporte Hidráulico.

| N° Falla | t _o (h) | Rango medio | F (i) (%) | R(t) | R(t) % |
|----------|--------------------|-------------|-----------|--------|--------|
| 1 | 152,0 | 0,0833 | 8,3333 | 0,9827 | 98,27 |
| 2 | 157,0 | 0,2024 | 20,2381 | 0,9807 | 98,07 |
| 3 | 158,5 | 0,3214 | 32,1429 | 0,9801 | 98,01 |
| 5 | 194,5 | 0,5595 | 55,9524 | 0,9605 | 96,05 |
| 6 | 297,0 | 0,6786 | 67,8571 | 0,8435 | 84,35 |
| 7 | 517,0 | 0,7976 | 79,7619 | 0,3262 | 32,62 |
| 8 | 587,0 | 0,9167 | 91,6667 | 0,1781 | 17,81 |

Fuente: Autor

Con los datos de la Tabla 4.92, procedemos a realizar la Figura de fiabilidad vs tiempo de operación.

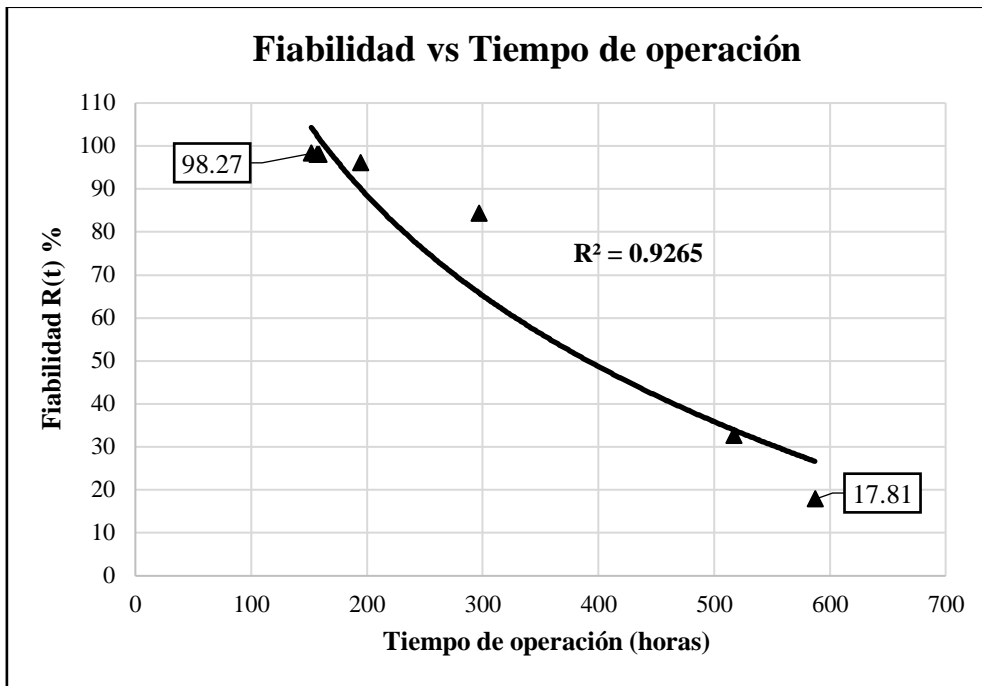


Fig. 4. 43. Fiabilidad de Weibull Transporte Hidráulico.

Fuente: Autor

De la gráfica podemos concluir:

- Se puede identificar en la Figura 4.43 de fiabilidad de Weibull, según el método gráfico, que los datos se encuentran correlacionados de forma que describen una tendencia logarítmica.
- El coeficiente de correlación múltiple es cercano a 1 ($R = 0.9024$), esto quiere decir que los datos se encuentran correlacionados en una tendencia logarítmica permitiendo así identificar en la zona que se encuentra en referencia a la curva de la bañera.

- El porcentaje de fiabilidad máximo según el método gráfico es de 97,78% con un tiempo de operación de 120 h.
- El porcentaje de fiabilidad mínimo según el método gráfico es de 7,68% correspondiente a un tiempo de operación de 694,75 h.
- De la gráfica se puede deducir que a mayor tiempo de operación la fiabilidad de los componentes es menor debido al desgaste y fallas que pueden presentar durante este tiempo.
- En la gráfica obtenida a partir del modelo gráfico de Weibull se puede identificar que el acampanador se encuentra en la fase 1 de la curva de la bañera (Fase de rodaje o mortalidad infantil), esto explica que la tasa de fallos sea decreciente

Resumen de cálculo de fiabilidad de weibull para las máquinas y equipos en el área de extrusión.

En la Tabla 4.93, se presenta el resumen del análisis de la fiabilidad de máquinas y equipos por la ley de weibull mediante el modelo matemático y método gráfico.

Tabla 4. 93. Resumen de cálculo de fiabilidad de weibull.

| FIABILIDAD DE WEIBULL | | | | |
|------------------------------|-------------------|---------|----------------|--------|
| Máquina | Modelo Matemático | | Método Grafico | |
| | Máxima | Mínima | Máxima | Mínima |
| EXTRUSORA | 8,22 | 0,00002 | 93,85 | 0,64 |
| TINA DE VACÍO | 56,21 | 34,60 | 96,47 | 17,97 |
| HALADOR | 67,65 | 31,17 | 95,98 | 10,84 |
| CORTADOR | 43,47 | 34,28 | 90,08 | 2,2 |
| ACAMPANADOR | 56,76 | 33,63 | 97,78 | 7,68 |
| IMPRESORA | 6,28 | 0,95 | 42,89 | 2,73 |
| TRANSPORTE HIDRÁULICO | 42,09 | 11,34 | 98,27 | 17,81 |

Fuente: Autor

4.8. Bitácora de mantenimiento preventivo

Tabla 4. 95. Bitácora de Mantenimiento de la Máquina Extrusora

| MÁQUINA | CÓDIGO | PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|--|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | SEMANAS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EXTRUSORA | H800.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SUBSISTEMA | COMPONENTE | ACTIVIDADES | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TRANSMISIÓN | Motor Principal | Revisar el funcionamiento del motor | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Rebobinar Motor | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Motor Ventilador | Limpiar del ventilador | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Caja de Transmisión | Limpiar la caja | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Revisar estado de piñones | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Caja Reductora | Cambiar de piñones | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Inspeccionar del nivel de aceite | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Bandas | Cambiar de aceite | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Revisar tesion de bandas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Rodamientos | Cambiar de bandas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Limpiar, lubricar rodamientos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Piñón de ataque | Reemplazar rodamientos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Cambiar, rectificar el piñon de ataque | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Rueda dentada | Limpiar y lubricar superficies de contacto | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TRANSPORTE DE MATERIAL | Husillo | Tensar, cambiar banda de ser necesario | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Cambiar cojinetes | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Limpiar conexiones | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Cilindro | Reemplazar conexiones | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Implementar un sistema de enfriamiento | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CONTROL TEMPERATURA DEL BARRIL | Bomba | Limpiar filtros y boquillas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Cañerías | Limpiar el área interna de trabajo | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Barril | Revisar general del estado de la bomba | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Resistencias | Revisar las conexiones que se encuentren en buen estado | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Termocuplas | Limpiar filtros y boquillas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EXTRUIDO | Araña | Revisar el estado de las resistencias | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Resistencias | Cambiar la termocuplas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Termocuplas | Revisar, Cambiar la araña de ser necesario | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Filtro | Revisar el estado de las resistencias | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Boquillas | Cambiar la termocuplas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ELÉCTRICO | Cables | Limpiar el filtro, | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Contactor eléctrico | Cambiar filtro | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Relé de Térmico | Limpiar boquillas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Fusible | Limpiar el cabezal | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Líneas de alimentación | Cambiar cables en mal estado | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Breakers | Limpiar contactos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Cambiar contactos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Variador de frecuencia | Inspeccionar conexiones, desactivar térmico | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Pulsador | Verificar el voltaje | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Limpiar conexiones | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Reemplazar líneas de alimentacion | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Limpiar conexiones | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Reemplazar Breakers | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Inspección cableado | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Revisión de conexiones | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Limpiar pulsadores | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Cambio de terminales, cables o pulsador | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

LIMPIEZA
 INSPECCIÓN
 MANTENIMIENTO

Continuación de la Tabla 4.100

| | | CICLO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------------|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|---|---|
| | | 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 | | | | |
| CORTADOR | TRANSMISIÓN | Semanal | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Quincenal | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Mensual | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | |
| | | Trimestral | | | | | ■ | | | | | | | ■ | | | | | | | | ■ | | | | | | | | | | ■ | |
| | Semestral | | | | | | | | | | | | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | ■ | | |
| | NEUMÁTICO | Semanal | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Quincenal | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Mensual | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | |
| | | Trimestral | | | | | | ■ | | | | | | | | | | | | | | | ■ | | | | | | | | | | ■ |
| | Semestral | | | | | | | | | | | | | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | ■ | |
| | ELÉCTRICO | Semanal | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Quincenal | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mensual | | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | |
| Trimestral | | | | | | | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | ■ | | | | | | | | | ■ | |
| Semestral | | | | | | | | | | | | | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | ■ | | |
| ACAMPANADOR | TRANSMISIÓN | Semanal | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Quincenal | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| | | Mensual | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | |
| | | Trimestral | | | | | | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | ■ | | | | | | | | | ■ |
| | Semestral | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ■ | |
| | NEUMÁTICO | Semanal | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Quincenal | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Mensual | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | |
| | | Trimestral | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Semestral | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ■ | |
| | ELÉCTRICO | Semanal | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Quincenal | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mensual | | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | |
| Trimestral | | | | | | | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | ■ | | | | | | | | ■ | |
| Semestral | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ■ | | |
| TRANSPORTE HIDRÁULICO | TRANSMISIÓN | Semanal | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Quincenal | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Mensual | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | |
| | | Trimestral | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Semestral | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ■ | |
| | HIDRÁULICO | Semanal | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Quincenal | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Mensual | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | |
| Trimestral | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Semestral | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ■ | | |

SEMANAL

QUINCENAL

MENSUAL

TRIMESTRAL

SEMESTRAL

4.9. Validación de la hipótesis

4.9.1. Correlación de pearson

El estimador muestral más utilizado para evaluar la asociación lineal entre dos variables X e Y es el coeficiente de correlación de Pearson (r). Se trata de un índice que mide si los puntos tienen tendencia a disponerse en una línea recta. Puede tomar valores entre -1 y +1 [28].

Es un método estadístico paramétrico, ya que utiliza la media, la varianza,...y por tanto, requiere criterios de normalidad para las variables analizadas [28].

Se define como la covarianza muestral entre X e Y dividida por el producto de las desviaciones típicas de cada variable:

$$r = \frac{S_{xy}}{S_x S_y} \text{ o } \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_x^2 S_y^2}} \quad \text{Ec. 4.1}$$

Donde:

r= Correlación de Pearson

S_{xy} = Covarianza de las variables X e Y

S_x = Desviación Típica de la variable X

S_y = Desviación Típica de la variable Y

S_x^2 = Varianza de la variable X

S_y^2 = Varianza de la variable Y

Covarianza

El numerador del coeficiente de correlación es la covarianza muestral S_{xy} entre X e Y, que nos indica si la posible relación entre dos variables es directa o inversa. Es una medida que nos habla de la variabilidad conjunta de dos variables cuantitativas [28].

$$S_{xy} = \frac{\sum(x_i - \bar{X})(y_i - \bar{Y})}{n-1} \quad \text{Ec. 4.2}$$

Así, si valores altos (o bajos) de X tienden a asociarse con valores altos (o bajos) de Y, el producto de las desviaciones tenderá a ser positivo y la covarianza será positiva.

Por el contrario, si valores altos de una variable se relacionan con valores bajos de la otra variable, el producto de las desviaciones tenderá a ser negativo y la covarianza será negativa [28].

De tal modo que:

- Si $S_{xy} > 0$ las dos variables crecen o decrecen a la vez (nube de puntos creciente).
- Si $S_{xy} < 0$ cuando una variable crece, la otra tiene tendencia a decrecer (nube de puntos decreciente).
- Si los puntos se reparten con igual densidad alrededor del centro de gravedad, $S_{xy} = 0$ (no hay relación lineal).

El signo de la covarianza nos dice si el aspecto de la nube de puntos es creciente o no, pero no nos dice nada sobre el grado de relación entre las variables.

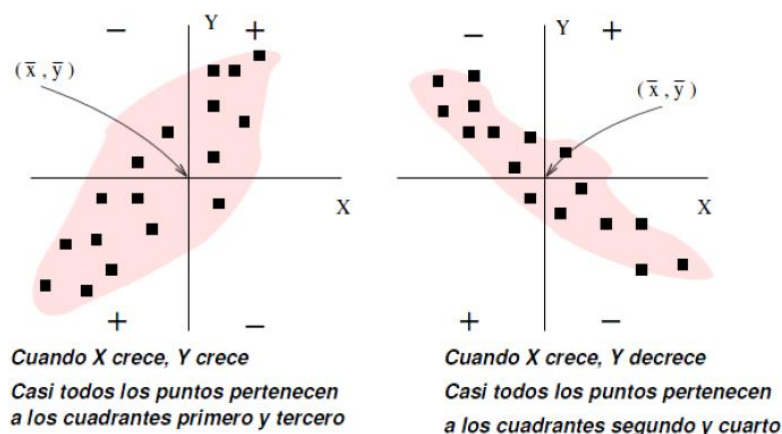


Fig. 4. 44. Interpretación geométrica de la covarianza [28].

Propiedades del coeficiente de correlación lineal r

- Carece de unidades de medida (adimensional).
- Sólo toma valores comprendidos entre $[-1, 1]$.
- Cuando $|r|$ esté **próximo a uno**, $r = +1$ (recta lineal creciente de izquierda a derecha) o $r = -1$ (recta lineal decreciente), se tiene que existe una **relación lineal muy fuerte** entre las variables [28].
- Cuando $r \approx 0$, puede afirmarse que **no existe relación lineal** entre ambas variables. Se dice en este caso que las variables son **incorreladas**.

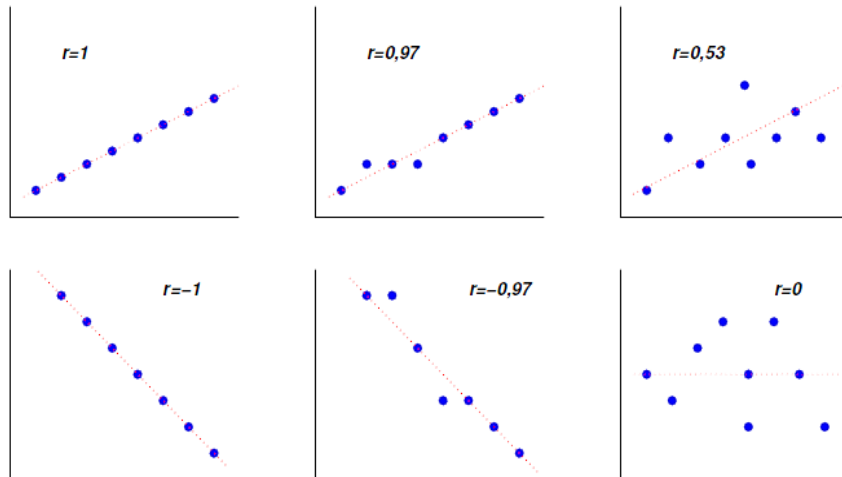


Fig. 4. 45. Diagramas de dispersión para diferentes valores de r [28].

En la Figura 4.45 vemos que $r = \pm 1$ es lo mismo que decir que las observaciones de ambas variables están perfectamente alineadas. **El signo de r , es el mismo que el de S_{xy} , por tanto nos indica el crecimiento o decrecimiento de la recta.** La relación lineal es tanto más perfecta cuanto r está cercano a ± 1 [28].

Interpretación de los valores de la correlación.

Tabla 4. 100. Valores de interpretación [29].

| Valor | Significado |
|--------------------------------|----------------------|
| ± 1 | Correlación perfecta |
| $\pm (0,7 \text{ a } 0,89)$ | Correlación alta |
| $\pm (0,4 \text{ a } 0,69)$ | Correlación moderada |
| $\pm (0,2 \text{ a } 0,39)$ | Correlación baja |
| $\pm (0,01 \text{ a } 0,19)$ | Correlación muy baja |
| 0 | Correlación nula |

4.9.2. Cálculo de la correlación en la fiabilidad de Weibull

Tabla 4. 101. Correlación entre la fiabilidad e Infiabilidad de Weibull

| FIABILIDAD DE WEIBULL | | | | | | | |
|-----------------------|--------------------|----------------------|-------------|----------------------------|-------------|----------------------------|---------------------------------------|
| Replicas | Fiabilidad Weibull | Infiabilidad Weibull | $x-\bar{X}$ | S_x^2 $(x-\bar{X})^2$ | $y-\bar{Y}$ | S_y^2 $(y-\bar{Y})^2$ | S_{xy} $(x-\bar{X})*(y-\bar{Y})$ |
| 1 | 0,56210 | 0,43790 | 0,16695 | 0,02787 | -0,16695 | 0,02787 | -0,02787 |
| 2 | 0,37932 | 0,62068 | -0,01583 | 0,00025 | 0,01583 | 0,00025 | -0,00025 |
| 3 | 0,35145 | 0,64855 | -0,04370 | 0,00191 | 0,04370 | 0,00191 | -0,00191 |
| 4 | 0,36200 | 0,63800 | -0,03315 | 0,00110 | 0,03315 | 0,00110 | -0,00110 |
| 5 | 0,41584 | 0,58416 | 0,02069 | 0,00043 | -0,02069 | 0,00043 | -0,00043 |
| 6 | 0,36270 | 0,63730 | -0,03244 | 0,00105 | 0,03244 | 0,00105 | -0,00105 |
| 7 | 0,34596 | 0,65404 | -0,04919 | 0,00242 | 0,04919 | 0,00242 | -0,00242 |
| 8 | 0,46579 | 0,53421 | 0,07064 | 0,00499 | -0,07064 | 0,00499 | -0,00499 |
| 9 | 0,36142 | 0,63858 | -0,03373 | 0,00114 | 0,03373 | 0,00114 | -0,00114 |
| 10 | 0,37308 | 0,62692 | -0,02207 | 0,00049 | 0,02207 | 0,00049 | -0,00049 |
| 11 | 0,37932 | 0,62068 | -0,01583 | 0,00025 | 0,01583 | 0,00025 | -0,00025 |
| 12 | 0,36177 | 0,63823 | -0,03338 | 0,00111 | 0,03338 | 0,00111 | -0,00111 |
| 13 | 0,41619 | 0,58381 | 0,02104 | 0,00044 | -0,02104 | 0,00044 | -0,00044 |
| Total | 0,39515 | 0,60485 | | 0,04346 | | 0,04346 | -0,04346 |

Fuente: Autor

Tabla 4. 102. Cálculo de medidas de dispersión

| Varianzas Muestrales | | Desviación Típica | | Covarianza | |
|----------------------|------------|-------------------|-------------|------------|-------------|
| S ² x | 0,00362125 | Sx | 0,060176826 | Sxy | -0,00362125 |
| S ² y | 0,00362125 | Sy | 0,060176826 | | |

Fuente: Autor

Con los valores determinados en la Tabla 4.102, y la ecuación 4.1. Determinamos el coeficiente de correlación.

$$r = \frac{S_{xy}}{S_x S_y} = \frac{-0,00362125}{0,060176826 * 0,060176826} = -1$$

$$r = \frac{-0,00362125}{0,060176826 * 0,060176826}$$

$$r = -1 \qquad R^2 = 1$$

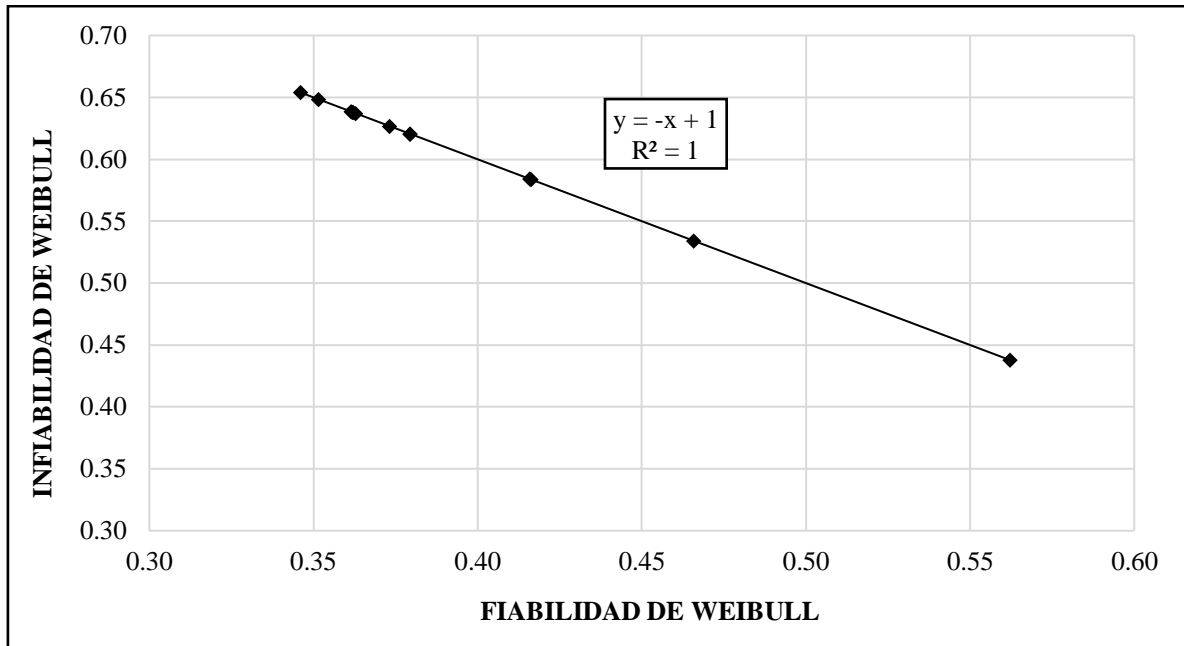


Fig. 4. 46. Correlación entre la fiabilidad e Infiabilidad de Weibull
Fuente: Autor

La interpretación de la Figura 4.46 y el valor de $r = -1$ nos dice que tenemos una correlación negativa perfecta y una dependencia total entre ambas variables lo que se conoce como "relación inversa", que es cuando una de las variables aumenta, la otra variable en cambio disminuye.

4.9.3 Análisis de datos de la fiabilidad de weibull

4.9.3.1. Verificación de supuestos

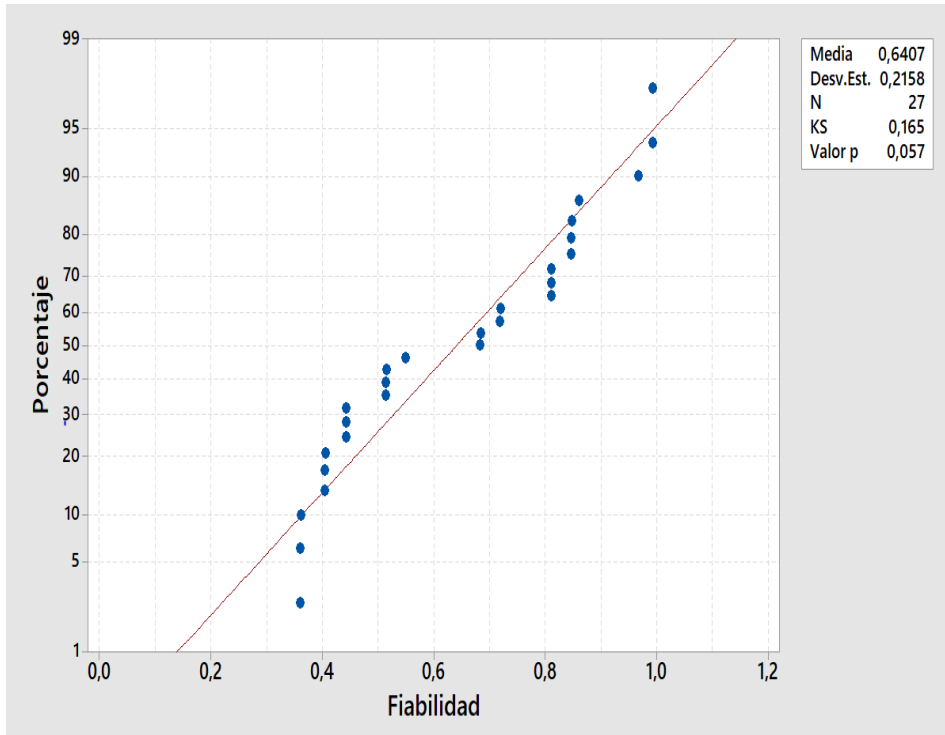
Para no perder la precisión de los resultados, previo a la realizar el análisis de la varianza es necesario que los datos cumplan con los supuestos paramétricos requeridos para la validez de los resultados [30].

Las pruebas que se deben realizar son: normalidad en los datos, igualdad de varianza en los tratamientos e independencia en las mediciones.

4.9.3.2. Verificación del supuesto de normalidad

Para verificar este supuesto en los datos de la Fiabilidad se aplica la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov, en la que se contrasta las significancias de la prueba con la significancia preestablecida.

Tabla 4. 103. Verificación del supuesto de normalidad de datos de fiabilidad

| | | | |
|---|--|-------------------------|----|
| Hipótesis: | H0: La fiabilidad tiene distribución normal. | | |
| | H1: La fiabilidad no tiene distribución normal. | | |
| Nivel de significancia: | $\alpha=0,05$ | Número de datos: | 27 |
|  | | | |
| Estadístico de prueba: Kolmogorov – Smirnov = 0.165 | | Valor-p = 0.057 | |
| Decisión: | No se rechaza la hipótesis nula. | | |
| Conclusión: | Para una significancia del 5%, se concluye que los datos fiabilidad tienen distribución normal. | | |

Fuente: Autor

El estadístico de prueba y la significancia calculada, como se puede observar en la Tabla 4.103, aclara que los datos cumplen con el supuesto de normalidad, ya que se requerir un valor-p mayor o igual a 0.05 para no rechazar H_0 , en este caso el valor-p es de 0.057.

4.9.3.3. Verificación de igualdad de varianza

Para verificar que los tratamientos cumplan con el supuesto de igualdad de varianza es necesario que se analice el gráfico de los predichos contra los residuos.

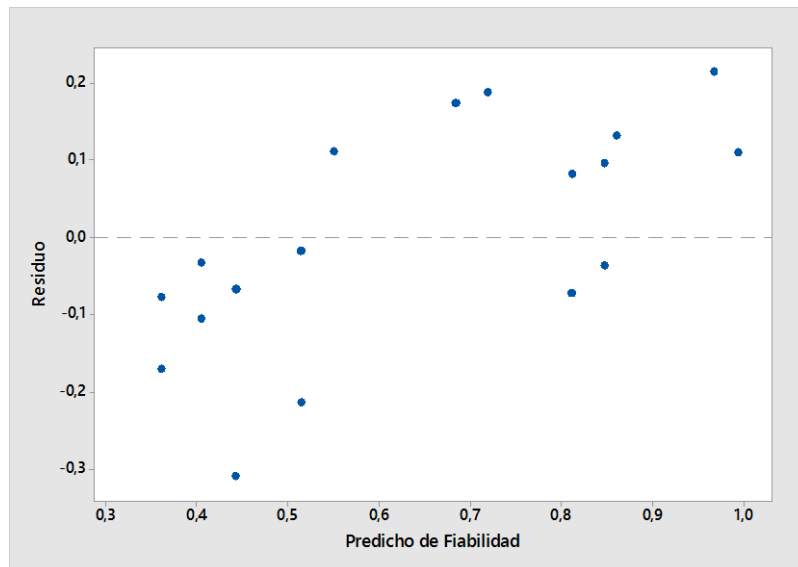


Fig. 4. 47. Figura de predichos fiabilidad vs Residuos.
Fuente: Elaboración propia Software especializado

Como se observa en la Figura 4.47 donde podemos notar que los puntos se distribuyen aleatoriamente sin un patrón contundente detectable, esto indica que se cumple el supuesto de igualdad de varianza.

4.9.3.4. Verificación de independencia de residuos

Para verificar que exista independencia en los residuos de fiabilidad, nos apoyamos en la información brindada por la Figura 4.48, la cual nos indica que no existe ninguna tendencia o patrón definido, por lo que se puede concluir que existe independencia de los residuos de esta propiedad.

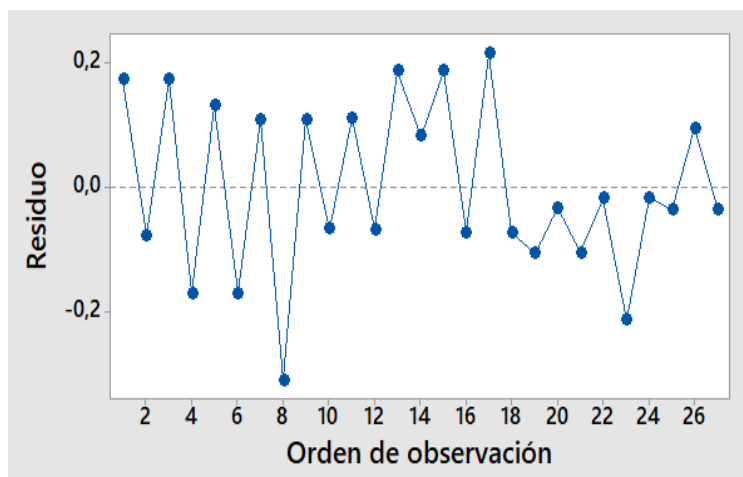


Fig. 4.48. Figura del Orden de observación vs. Residuos de fiabilidad.
Fuente: Elaboración propia Software especializado

4.9.4. Aplicación del diseño experimental

Para la aplicación de los diseños experimentales se consideró un diseño factorial 3^k , modelo que considera k factores con tres niveles cada uno y tiene 3^k tratamientos. Este diseño requiere de mayor cantidad de pruebas que el diseño 2^k . Para poder determinar como el diseño se ajusta se analizan a continuación [31].

4.9.4.1. Diseño factorial completo

Para aplicar este diseño experimental se debe tener presente que los dos factores a ser analizados tienen igual interés: el parámetro de localización y el parámetro de forma, dentro del mismo también se incluye el efecto asociado a la interacción de los factores anteriormente mencionado por lo que dependiendo de los resultados del ANOVA se establece si este contribuye significativamente o no a la fiabilidad por la ley de Weibull.

Tabla 4. 104. ANOVA para el Diseño factorial completo de la Fiabilidad

| Fuente de variabilidad | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrado medio | F ₀ | Valor p |
|---|--------------------|-------------------|----------------|----------------|---------|
| Modelo | 8 | 0,71188 | 0,088985 | 3,21 | 0,019 |
| Factor de localización | 2 | 0,58894 | 0,294471 | 10,63 | 0,001 |
| Factor de forma | 2 | 0,00002 | 0,000011 | 0,00 | 1,000 |
| Factor de localización *Factor de forma | 4 | 0,12291 | 0,030728 | 1,11 | 0,383 |
| Error | 18 | 0,49851 | 0,027695 | | |
| Total | 26 | 1,21039 | | | |

Fuente: Autor

4.9.5. Verificación de hipótesis

Posteriormente al análisis de los datos de la fiabilidad de weibull mediante el diseño factorial completo con la ayuda del software especializado se procede a la verificación de la hipótesis planteada al inicio de la investigación la cual consiste en comprobar si “El análisis de la fiabilidad de máquinas y equipos por la ley de weibull incide en su disponibilidad”, para aquello se utiliza el análisis de varianzas (ANOVA) y la Tabla 4.104.

Teniendo en cuenta que para aceptar o rechazar la hipótesis nula, el P-valor deber cumplir las siguientes condiciones, estableciendo que el nivel de significancia (α) es del 5%.

$$P\text{-valor} \geq \alpha \text{ Aceptar } H_0$$

$$P\text{-valor} < \alpha \text{ Aceptar } H_1$$

4.9.5.1. Verificación de la hipótesis respecto a la fiabilidad de las máquinas, mediante anova hipótesis

H₀: El análisis de la fiabilidad de máquinas y equipos por la ley de weibull no incide en su disponibilidad.

H₁: El análisis de la fiabilidad de máquinas y equipos por la ley de weibull incide en su disponibilidad.

La Tabla 4.105 presenta el resumen de la Tabla 4.104 en el cual se describe el P-valor del modelo que contiene a los factores de escala y localización que tienen incidencia en la fiabilidad por la ley de Weibull.

Tabla 4. 105. Resumen del P-valor del modelo de regresión lineal de Fiabilidad.

| Fuente de variabilidad | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrado medio | F ₀ | Valor p |
|------------------------|--------------------|-------------------|----------------|----------------|---------|
| Modelo | 8 | 0,71188 | 0,088985 | 3,21 | 0,019 |
| Error | 18 | 0,49851 | 0,027695 | | |
| Total | 26 | 1,21039 | | | |

Fuente: Autor

Conclusión:

El P-valor (0,019) determinado del análisis de diseño factorial completo, mediante el análisis de varianzas por ANOVA resulta ser menor que el nivel de significancia (0,05), por lo tanto se acepta la hipótesis alternativa (H1).

Con eso se puede afirmar que de los parámetros que intervienen en la ley de Weibull el parámetro que tiene mayor influencia es el de forma (β), puesto que si tenemos valores de β menores a 1 obtendremos valores de fiabilidad menores al 10 % teniendo una influencia negativa en la fiabilidad de las máquinas lo que influye directamente en la disponibilidad de las máquinas.

CAPÍTULO V

Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

- Luego de realizar la investigación se determina el estado actual de las máquinas y equipos de la línea 800 del área de extrusión, para determinar el estado actual se desarrolló estadísticos, los estadísticos determinan que la disponibilidad están en un rango del 98,52 al 99,36 % como se puede mostrar en la Tabla 4.23 a la 4.29. Para ello se debió elaborar un estudio de tiempos, tiempos de operación, tiempos de reparación y tiempos de falla, así como también el estudio de fichas técnicas de cada máquina y equipo existente dentro del área de extrusión lo cual permitió identificar las características técnicas y requerimientos que necesita cada máquina y equipo.
- Para realizar el análisis AMFE se determinó que en la nota técnica de prevención NPT 679 se establecen tres factores a ponderar Gravedad, Frecuencia y Detección con lo cual el producto de los mismos determina un número de prioridad de riesgo (NPR), el mismo ayudara a determinar que componentes están dentro de un rango inaceptable ($NPR > 200$), en cuanto al proceso de modo de fallo es decir los que tienen tendencia a fallos. En el Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE) se puede observar el modo de fallo de cada máquina y equipo con una valoración adecuada que se describe en las Tablas 4.30 a la 4.36; las cuales nos revelan el número de prioridad de riesgo (NPR) por cada componente. Por ejemplo en la extrusora se determina que la (caja de transmisión) es el componente más crítico puesto que tiene un ($NPR = 210$), que es el más alto del estudio y se debería dar más énfasis en el plan de mantenimiento.
- Los parámetros encontrados, según la NPT 331, para la distribución de Weibull fueron: tiempos de operación, parámetro de forma (β), parámetro de localización (γ) y parámetro de papel de Weibull (n). El análisis de la fiabilidad según el modelo matemático y gráfico se detalla en las Tablas 4.36 a la 4.91. Por ejemplo para la extrusora para el modelo matemático se obtuvo los valores de $\beta = 0.7058$, $\alpha = 125.7886$ y $\gamma = 0$ según la Tabla 4.39; así también se encontraron los valores para el

modelo gráfico de la misma: $\beta = 3.4$, $\eta = 540$ y $\mu = 600$ según la Tabla 4.72, estos valores varían según el método a aplicar ya que en el modelo matemático interviene el parámetro de localización mientras que en el modelo gráfico se encuentra el parámetro de papel de Weibull.

- Se identificó que la fiabilidad de las máquinas y equipos según el método Weibull, depende directamente del tiempo de operación de las mismas y de los parámetros encontrados como se describe en las Tablas 4.36 a la 4.91. Por ejemplo para la tina de vacío aplicando el modelo matemático se tiene una fiabilidad máxima de 56.21 % con un tiempo de operación de 120 h y una fiabilidad mínima de 34.60 % con un tiempo de operación de 645 h descrito en la Tabla 4.45; en el modelo gráfico se obtuvo que la fiabilidad máxima es de 96.48 % con tiempo de operación de 120 h y la mínima de 17.97 % con un tiempo de operación de 645 h descritos en la Tabla 4.76.
- Para el cálculo de disponibilidad se determinó que los parámetros más relevantes son el tiempo medio entre fallos (TPEF), tiempo medio de reparación (TTPR), tasa de fallos (λ) y tasa de reparación (μ), con estos valores se calcula la disponibilidad y comparada con el valor de fiabilidad determinada por la ley de Weibull, determina que las máquinas poseen una competencia para el mantenimiento preventivo.
- El plan de mantenimiento está en función de la bitácora en donde se determinan las acciones correctivas y preventivas que se van a realizar durante el plan de mantenimiento preventivo dispuesto en el objetivo 5, puesto que se cuenta con el análisis AMFE, análisis de fiabilidad con Weibull, los valores de (NPR) y fiabilidad ayudaran a establecer las recomendaciones en función de los valores estadístico.

5.2. Recomendaciones

- Es aconsejable registrar en una bitácora todas las actividades de mantenimiento que se realizan en cada máquina, así como los tiempos requeridos en cada actividad para poder tener un buen historial y que reflejen la realidad de lo que está pasando en cada máquina.
- Realizar el estadístico de las máquinas con datos que sean lo más actuales posible, en lo posible datos que no sean más de dos años, debido a que esto ayudara a realizar el cálculo de los parámetros más actuales para llevar a cabo el tipo de mantenimiento.
- Para identificar los parámetros Weibull se recomienda utilizar ecuaciones de media, mediana, variación; con la finalidad de obtener datos más confiables para el cálculo de los parámetros que intervienen en la ecuación de Weibull para el modelo matemático, de la misma forma utilizar un programa de cálculo computarizado para llevar a cabo el cálculo de dichos parámetros.
- Considerar los parámetros adecuados cuando se realice el cálculo de Weibull por el método gráfico, ya que en el papel de Weibull intervienen muchos parámetros que no se utilizaron en este trabajo.
- Se recomienda realizar la programación del análisis de la fiabilidad por la ley de Weibull en un software informático, que permita tener un control más exacto del estado en que se encuentran las máquinas y equipos del área de extrusión de la empresa Holviplas S.A, el cual nos permita dar un mantenimiento preventivo adecuado y reducir en su totalidad el mantenimiento correctivo.

CAPÍTULO VI

6.1 Datos informativos

6.1.1. Título

Programación de la fiabilidad mediante la ley Weibull para las máquinas y equipos del área de extrusión en la empresa Holviplas S.A.

6.1.2. Autor

Ing. Luis Rolando Agualongo Yansapanta

6.1.3. Beneficiarios

La entidad beneficiada con la presente propuesta será la empresa Holviplas S.A.

6.1.4. Ubicación

La empresa Holviplas S.A., se encuentra ubicada actualmente en la provincia de Tungurahua, cantón Pelileo, parroquia Benítez, Kilómetro 11 vía a Baños.

6.1.5. Tiempo estimado para la ejecución

Fecha de inicio: Agosto de 2019.

Fecha de culminación: Noviembre de 2019.

6.1.6. Equipo técnico responsable

Jefe de Departamento de Mantenimiento: Ing. Renato Noriega

Gerente de Producción: Ing. Juan Pablo Naranjo

Jefe de Calidad: Ing. Juan Carlos Aleaga

Autor: Ing. Luis Rolando Agualongo Yansapanta

Tutor: Ing. Christian Byron Castro Miniguano, Mg.

6.2. Antecedentes de la propuesta

En el área de extrusión de la empresa Holviplas S.A., de acuerdo con el análisis de la fiabilidad realizado se evidencio que existe un manejo inadecuado de la información técnica y del historial de las actividades de mantenimiento que se realizan en cada maquinaria, dando como resultado un sin número de errores y problemas; tales como: paradas imprevistas, indisponibilidad de las máquinas y equipos por fallas mecánicas o eléctricas y altos costos de mantenimiento. Es por eso que con el análisis realizado en esta investigación se llegó a la conclusión que es necesario realizar la programación de la fiabilidad con Weibull de las máquinas y equipos del área de extrusión en la empresa Holviplas S.A.

En la actualidad el único registro existente de las actividades realizadas a las máquinas es un cuaderno de notas que maneja el jefe de mantenimiento por lo que sería de gran utilidad un software que ayude con el historial del registro de mantenimiento, especificaciones técnicas de las máquinas que serán de utilidad para el desarrollo de actividades futuras de mantenimiento.

Existen varios trabajos de investigación orientados a desarrollar programas de mantenimiento con la ayuda de softwares especializados que ayuden a determinar los índices de confiabilidad aplicando la ley de Weibull, como es el caso de la Universidad Austral de Chile donde se desarrolló un trabajo de investigación con el tema: DESARROLLO DE SOFTWARE PARA DEL CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS DE WEIBULL Y APLICACIONES EN: ANÁLISIS DE FALLAS MECÁNICAS Y CARACTERIZACIÓN DEL POTENCIAL EÓLICO [32].

6.3 Justificación

Una empresa independientemente del tipo de actividad que esta realice debe contar con un modelo claro y preciso de las actividades de mantenimiento que deben realizarse, el cual tendrá como finalidad guiar al cumplimiento de una actividad específica, la misma que deberá ser aplicada en tiempos establecidos.

En la actualidad muchas empresas e instituciones ven al mantenimiento como una inversión y no como un gasto, ya que uno de los objetivos del mantenimiento es la optimización de la disponibilidad de los equipos productivos y la disminución de los costos de mantenimiento. Todo esto lleva a la necesidad de tener actividades programadas

de mantenimiento y reparación, mismas necesidades que se presentan para la maquinaria del área de extrusión de la empresa Holviplas S.A.

6.4. Objetivos

6.4.1. Objetivo general

Programar la fiabilidad mediante la ley Weibull para las máquinas y equipos del área de extrusión en la empresa Holviplas S.A.

6.4.2. Objetivos específicos

- Recopilar de información de las máquinas y equipos del área de extrusión de la empresa Holviplas S.A.
- Diseñar interfaces graficas independientes, tanto para el método matemático y grafico de Weibull, que permitan la adecuada interacción entre el usuario y el software diseñado.
- Realizar la programación del modelo matemático y gráfico de Weibull utilizando software especializado.
- Realizar un manual de uso para el software de Fiabilidad.

6.6. Fundamentación

El presente trabajo se fundamentó en la necesidad de implementar un software que determine los índices de Fiabilidad en maquinaria y equipos del área de extrusión con sus respectivas gráficos utilizando Weibull tomando en cuenta el tiempo de operación previamente recopilados de la base de datos de Gestión de Mantenimiento.

De igual manera la información contenida en el Capítulo II, “Marco Teórico”, presenta toda la información, criterios, características y fundamentos necesarios a tomarse en cuenta para el desarrollo del proyecto, en especial la Sección 2.2.3 Análisis de fiabilidad de máquinas y equipos por la ley de Weibull, misma sección que abarca, el procedimiento para la ejecución del modelo matemático y gráfico de Weibull.

También es necesario expresar que la correcta aplicación de un software para la fiabilidad y la información recolectada de las máquinas, puede mejorar las condiciones actuales de los procesos de reparación y mantenimiento en el área de extrusión, y por consecuente tendremos una mejora de la disponibilidad de la maquinaria.

Para una mejor captación de información es necesario ampliar algunos temas de importancia, que nos permitirá el desarrollo del trabajo de una mejor manera y de gran eficacia.

6.6.1. Software especializado

El diseño del programa se realizara en base al lenguaje de programación del software especializado, el cual se describe a continuación [32].

Matrix Laboratory, “laboratorio de matrices”

Como información general podemos mencionar que el software especializado tiene un modelo de desarrollo de Software propietario, de genero Software matemático lanzado en 1984 [32].

Este software de ayuda al cálculo está formado por un lenguaje de programación propio (lenguaje M). Entre sus aplicaciones se hallan: el cálculo matemático de matrices, manipulación y figuración de datos y funciones, el desarrollo de algoritmos, la realización de interfaces de usuario (GUI's), un entorno de programación visual (Simulink) y la comunicación con programas en otros lenguajes y con otros dispositivos hardware. Está disponible para los sistemas operativos Windows, Unix y Apple Mac [32].

El software dispone de dos aplicaciones adicionales que amplían sus propiedades, que son: Simulink (plataforma de simulación) y GUIDE (editor de interfaces de usuario - GUI). Además, se pueden aumentar las características con las herramientas (toolboxes), y las de Simulink con las aplicaciones de bloques (blocksets) [32].

Para la creación de las interfaces gráficas se recurrirá al uso de la herramienta GUIDE.

6.6.2. Creación de la interfaz gráfica

Una interfaz de usuario gráfica (GUIDE) es una representación gráfica de una o más ventanas que contienen los controles, denominados componentes, que permiten a un usuario realizar tareas interactivas. Los componentes de la interfaz gráfica de usuario puede incluir menús, barras de herramientas, botones, botones de radio, cuadros de lista, deslizadores..., que permitirán al usuario interactuar con el GUIDE y establecer el flujo de ejecución. Las interfaces gráficas de usuario creadas con herramientas de software también pueden realizar cualquier tipo de cálculo, leer y escribir archivos de datos,

comunicarse con otras interfaces gráficas de usuario, y visualizar datos como tablas o gráficos [32].

Un GUIDE crea un archivo de código asociado que contiene las devoluciones de llamada para la interfaz gráfica de usuario y sus componentes. Consta de dos archivos; un archivo *.m (ejecutable) y otro *.fig (parte grafica). Las dos partes están unidas a través de las subrutinas Callback [32].

Para la creación de un GUIDE se debe seguir los siguientes pasos:

1. Se puede ingresar tecleando la palabra `guide` en el Command Window como se muestra en la Figura 6.1 y presionar la tecla enter.

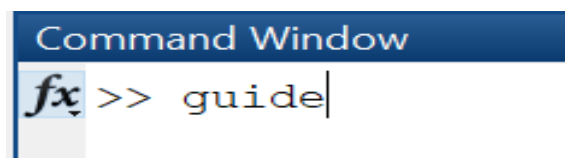


Fig. 6. 1. Acceso a un GUIDE desde Command Window
Fuente: Elaboración propia Software Especializado

2. Dar click en HOME → New → App → GUIDE, como se muestra en la Figura 6.2.

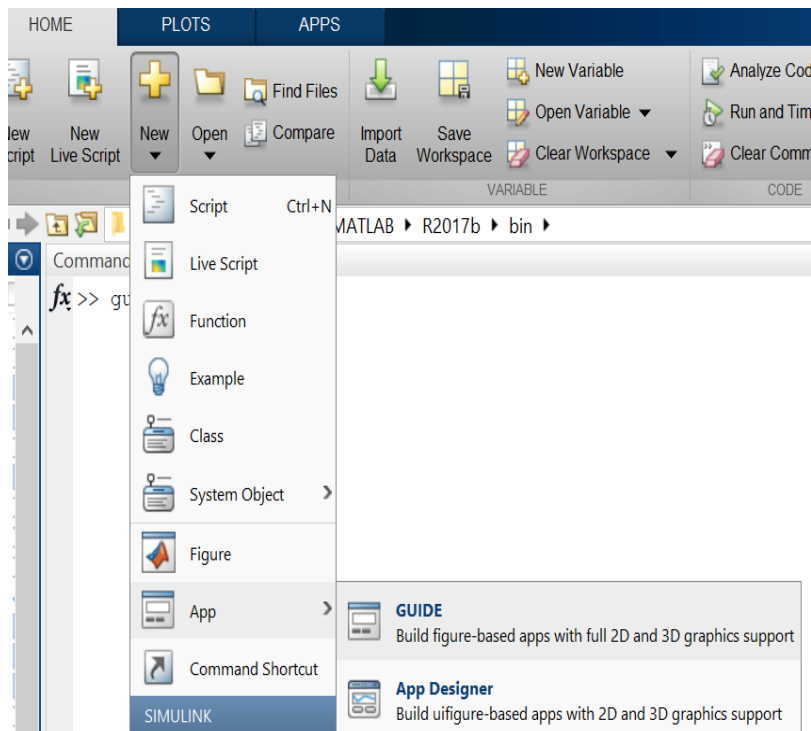


Fig. 6. 2. Acceso a un GUIDE desde el menú
Fuente: Elaboración propia Software Especializado

Luego de realizar uno de los pasos descritos anteriormente aparecerá la una ventana la cual consta de cuatro opciones como se muestra en la Figura 6.3:

- a) Black GUI (Default)
- b) GUI with Uicontrols
- c) GUI with Uicontrols Axes and Menú
- d) Modal Question Dialog

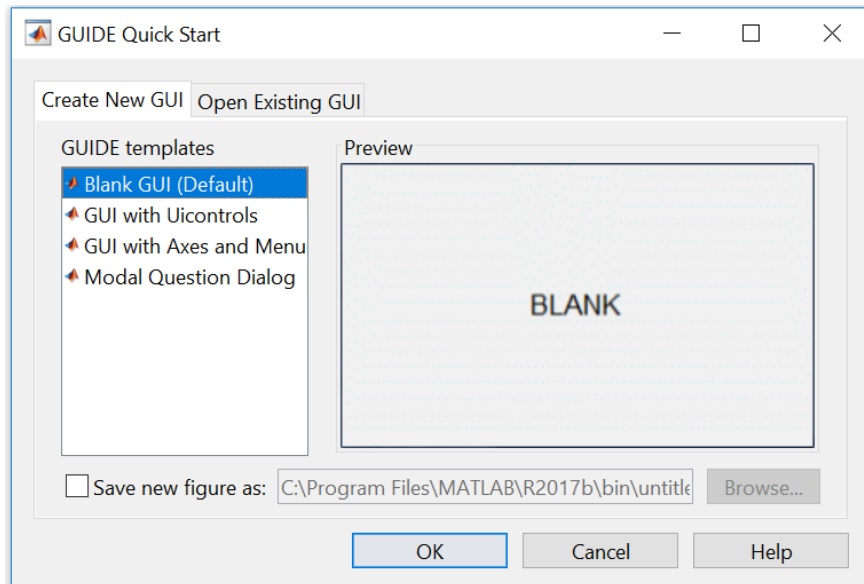


Fig. 6.3. Ventana de inicio de GUI.
Fuente: Elaboración propia Software Especializado

La primera opción nos muestra una interfaz gráfica de usuario en blanco (predeterminada), la cual nos presenta una interfaz nueva, en la cual podremos diseñar nuestro programa.

3. Se selecciona la primera opción y al presionar OK, accedemos a la ventana de diseño, en la cual encontraremos las herramientas de GUI que están disponibles en el editor de diseño como se muestra en la Figura 6.4.

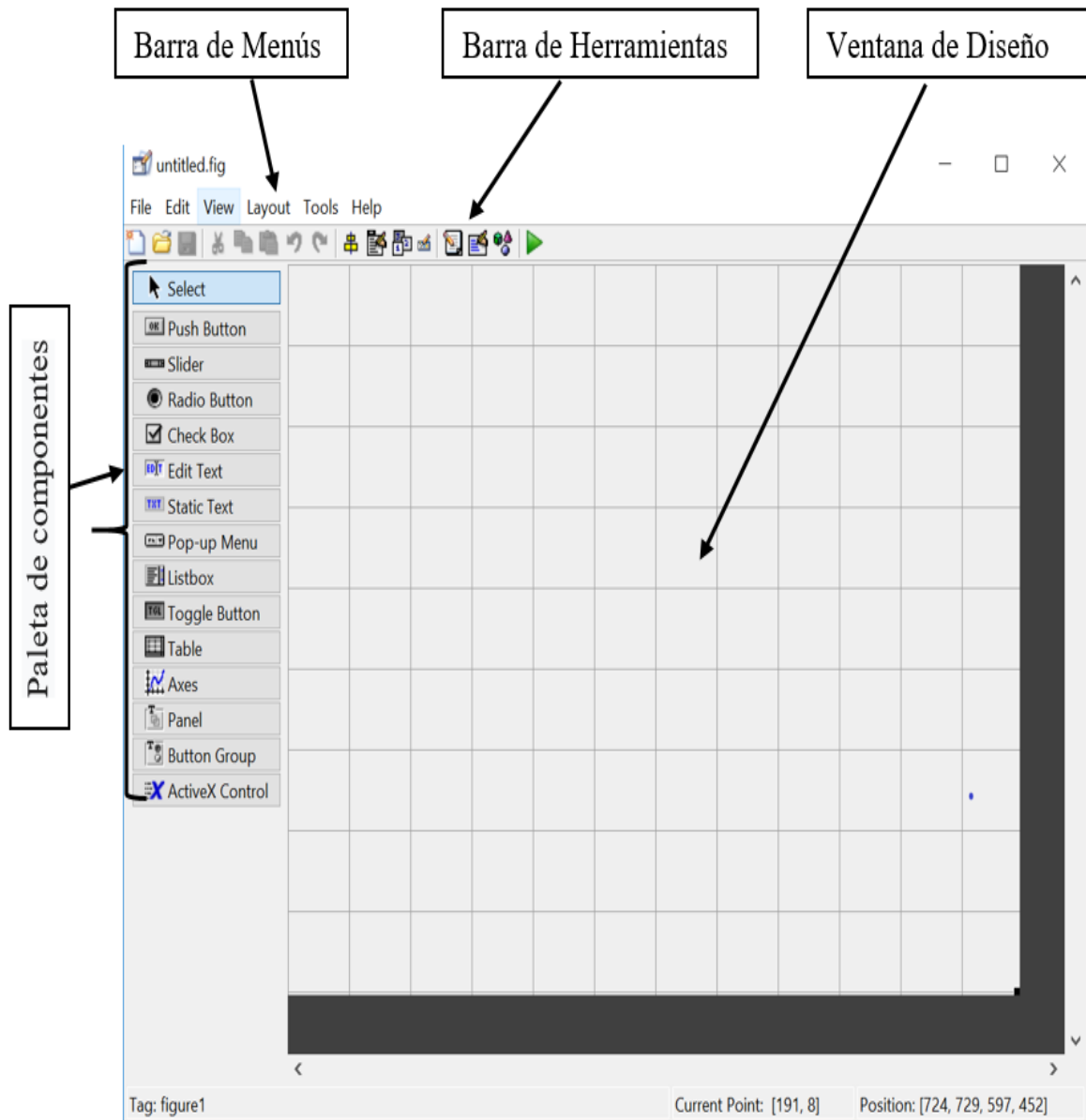


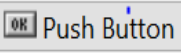
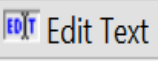


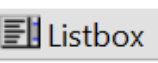
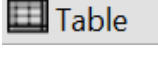


Fig. 6. 4. Entorno de diseño de GUI
Fuente: Elaboración propia Software Especializado

4. Seleccionar de la paleta los componentes necesarios

Consta de 14 componentes diferentes. La utilización de cada uno se lo hace en función de sus características y aplicación.

Los componentes empleados para el diseño del software se detallan a la Tabla 6.1.

Tabla 6. 1. Paleta de componentes y sus funciones

| Componente | Símbolo | Función |
|-------------|---|---|
| Push Botton |  | Se lo utiliza para ejecutar una orden cuando se pulsa. |
| Edit Text |  | Caja para editar texto, permite a los usuarios introducir o modificar las cadenas de texto. Los usuarios pueden introducir números pero deben convertirlos a sus equivalentes numéricos |
| Static Text |  | Muestra un string de texto en una caja. Los usuarios no pueden cambiar texto estático interactivamente. |
| Pop-up menu |  | Menus emergentes abren para mostrar una lista de opciones cuando los usuarios hacen click en la flecha |
| Listbox |  | Muestra una lista deslizable de elementos y permite a los usuarios seleccionar uno o más elementos |
| Table |  | Genera una Tabla |
| Axes |  | Permite mostrar gráficos e imágenes |
| Panel |  | Paneles para organizar los componentes GUI en grupos. Al agrupar visualmente los controles relacionados, los paneles pueden hacer la interfaz de usuario más fácil de comprender |

Fuente: Autor

5. Modificar las propiedades de los objetos (Property inspector)

Atraves del Property Inspector, se pueden modificar las propiedades de cada uno de los objetos detallados en la Tabla 6.1. También se puede acceder al mismo pulsando con el botón derecho del ratón sobre el elemento y seleccionando la opción Property Inspector como se muestra en la Figura 6.5.

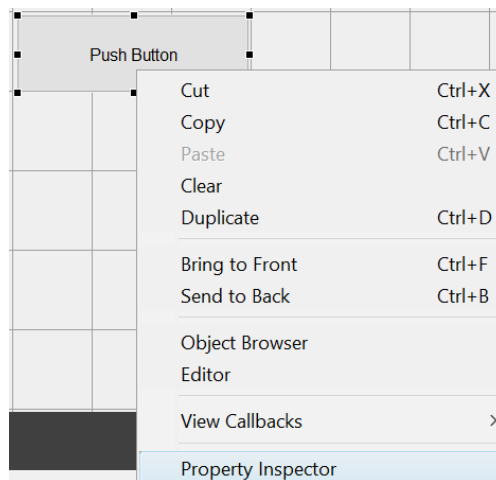


Fig. 6. 5. Acceso Property Inspector.

Fuente: Elaboración propia Software Especializado

Tabla 6. 2. Principales propiedades de los botones

| Propiedad | Función |
|-----------------|---|
| Background | Color de fondo del objeto |
| BusyAction | Rutina de interrupción |
| ButtonDownFcn | Rutina al presionar el objeto |
| Callback | Función del objeto |
| CData | Imagen mostrada en el objeto |
| CreateFcn | Rutina ejecutada durante la creación del objeto |
| DeleteFcn | Rutina ejecutada durante el borrado del objeto |
| Enable | Habilita o deshabilita el objeto |
| FontName | Tipo de fuente |
| FontSize | Tamaño de letra |
| FontUnits | Unidades del tamaño |
| FontWeight | Grosor de letra |
| ForegroundColor | Color del texto |
| String | Texto o etiqueta del objeto |
| Style | Tipo de control (botón o slider) |
| Tag | Etiqueta del objeto |

Fuente: Autor

6. Colocar los componentes en una interface GUI

En la Figura 6.6, se muestran los componentes que se pueden utilizar para el diseño de la interface GUI.

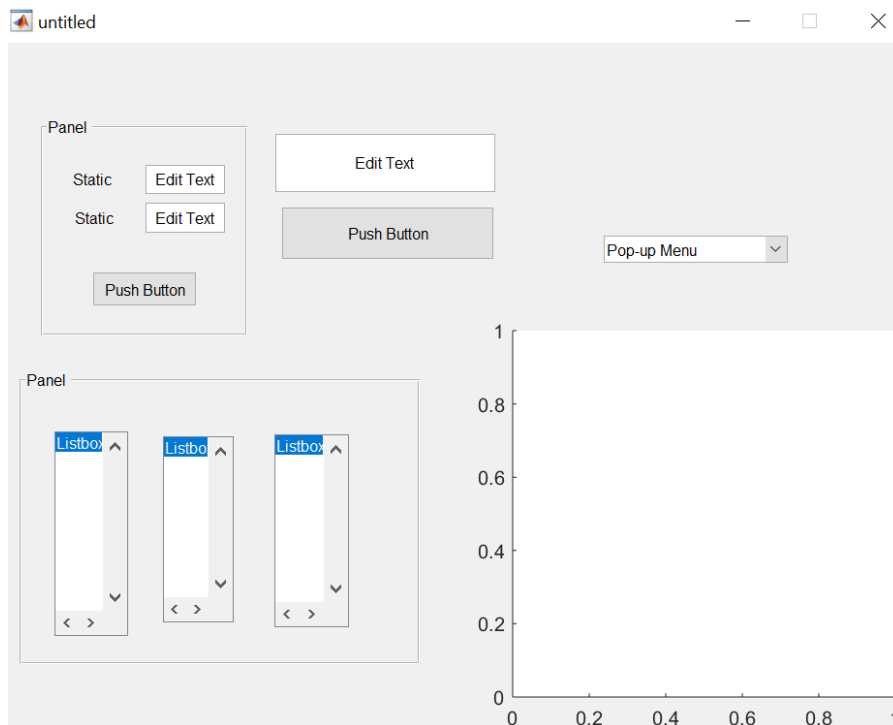


Fig. 6. 6. Ejemplo de un GUI con varios componentes

Fuente: Elaboración propia Software Especializado

7. Programación de la interface GUI

Una vez finalizado el diseño de la interfaz Figura de usuario en cuanto a componentes y propiedades de los mismos, al guardar el GUI se generará un archivo de texto automáticamente, cuya extensión es `.m`.

Para mejor comprensión de la comunicación entre ambos archivos se muestra en la Figura 6.7, una GUI llamada *untitled* con la correspondencia entre los elementos gráficos y sus *callbacks* asociados. Se pueden observar tres partes del código diferenciadas: el código de inicialización, y los *callbacks* de cada botón.

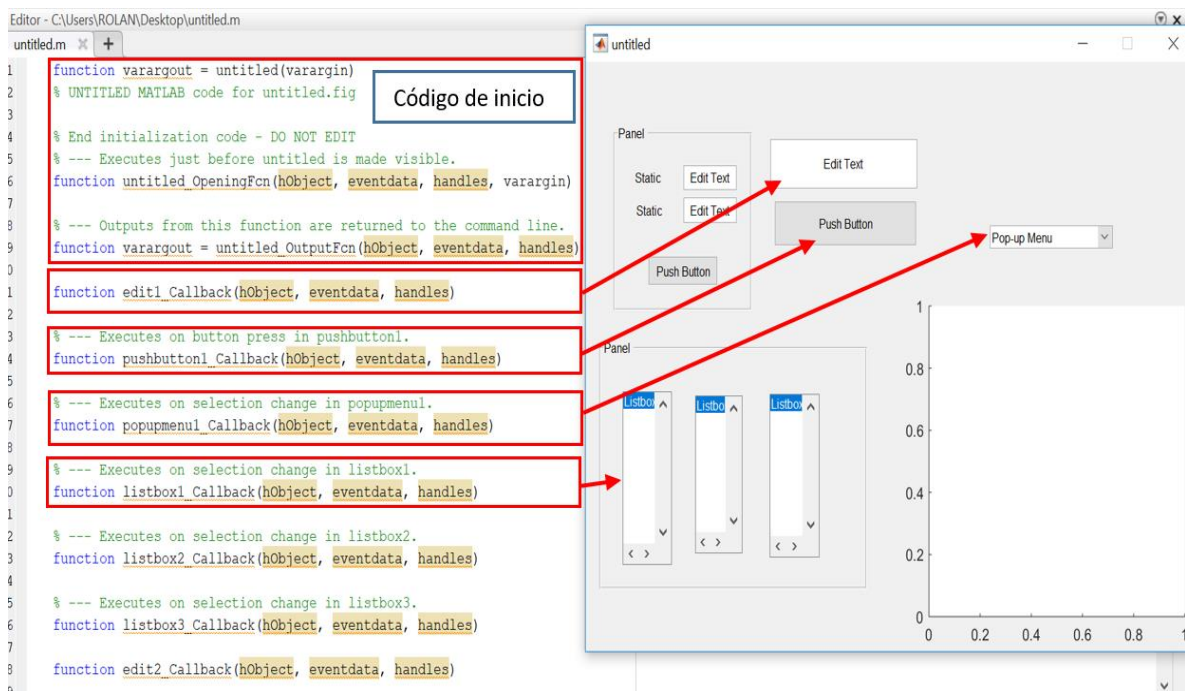


Fig. 6.7. Comunicación entre la programación y la parte grafica de un GUI.
Fuente: Elaboración propia Software Especializado

6.6.3. Métodos de estimación de parámetros

6.6.3.1. Máxima verosimilitud

El método de máxima verosimilitud suele generar estimadores insesgados de la mínima varianza, siendo este un procedimiento frecuente para ajustar un modelo y encontrar sus parámetros característicos [32].

Encontrar las estimaciones para la distribución Weibull, consiste en tomar las derivadas parciales de la función de probabilidad con respecto a los parámetros, organizar las

ecuaciones que resultan igual a cero y resolver simultáneamente para determinar los valores de los parámetros estimados [32].

Para determinar los parámetros con la ayuda del software especializado se lo hace mediante la herramienta de Toolbox y su comando es **“*parmhat=wblfit (data)*”**, el cual realiza utilizando este mismo método.

En la tabla 6.3 se detallan algunos estimadores de máxima verosimilitud para tres distribuciones

Tabla 6. 3. Estimadores de máxima verosimilitud

| Distribución | Parámetro | Estimadores |
|---------------------|------------------|---|
| Exponencial | β | $\hat{\beta} = \hat{x} = \sum \frac{x_i}{n}$ |
| | μ | $\hat{\mu} = \sum \frac{n}{x_i}$ |
| Rayleigh | α | $\hat{\alpha} = \sqrt{\frac{1}{2N} \sum_{i=0}^N x_i^2}$ |
| Weibull | α | $\frac{\sum_{i=1}^n X_i^{\hat{\alpha}} \ln X_i}{\sum_{i=1}^n X_i^{\hat{\alpha}}} - \frac{1}{\hat{\alpha}} = \frac{\sum_{i=1}^n \ln X_i}{n}$ |
| | β | $\hat{\beta} = \left(\frac{\sum_{i=1}^n X_i^{\hat{\alpha}}}{n} \right)^{\frac{1}{\hat{\alpha}}}$ |

Fuente: Autor

6.6.3.2. Mínimos cuadrados

Este método es el utilizado tradicionalmente para la estimación de los parámetros de la distribución de Weibull, su mayor dificultad radica en cálculo del rango de la mediana, ya que por lo general se utiliza una aproximación de esta, en general este método es relativamente sencillo en comparación con el de Máxima Verosimilitud, pero tedioso por la gran cantidad de pasos para llegar a un resultado [32].

El método de los mínimos cuadrados permite calcular los parámetros de forma y escala, mediante la transformación doble logarítmica de la función de distribución acumulativa.

Dedución de la ecuación lineal de regresión:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad \text{Función acumulativa de Weibull}$$

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

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

$$\ln\left[\frac{1}{1-F(t)}\right] = \ln e\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta \text{ Aplicando logaritmos naturales}$$

$$\ln\left[\frac{1}{1-F(t)}\right] = \left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta \text{ Propiedad exponencial de los logaritmos}$$

$$\ln\left[\ln\left(\frac{1}{1-F(t)}\right)\right] = \beta \ln\left(\frac{t}{\eta}\right) \text{ Aplicando logaritmos naturales}$$

$$\ln\left[\ln\left(\frac{1}{1-F(t)}\right)\right] = \beta \ln(t) - \beta \ln(\eta) \quad \text{Ec. 6.1}$$

La expresión anterior representa una ecuación lineal de la forma

$$y = \beta x - b \quad \text{Ec. 6.2}$$

La cual es una recta de regresión, con:

$$y = \ln\left[\ln\left(\frac{1}{1-F(t)}\right)\right]; x = \ln(t); b = \beta \ln(\eta) \quad \text{Ec. 6.3}$$

Con la ecuación 6.2, se concluye que el parámetro de forma, β , es la pendiente de la recta de regresión.

Con la ecuación 6.3, se observa que el parámetro de escala, está en función del intercepto b de la recta de regresión y del parámetro de escala; por lo tanto:

$$b = -\beta \ln(\eta)$$

$$-\frac{b}{\beta} = \ln(\eta)$$

$$\eta = e^{-\frac{b}{\beta}} \quad \text{Ec. 6.4}$$

6.6.3.3. Rango de mediana

Para poder trazar la recta de regresión, se debe calcular un estimador para la función de distribución acumulativa $F(x)$. Este estimador, llamado Rango de mediana, es un estimador no paramétrico basado en el orden de las fallas. Este aspecto implica que la muestra de datos se debe organizar de menor a mayor (en forma ascendente)

La expresión matemática para este estimador es [32]:

$$w_{\alpha}(X_i) = \frac{\frac{i}{n-i+1}}{F_{1-\alpha, 2(n-i+1), 2i} + \frac{i}{n-i+1}}$$

Donde:

$w_{\alpha}(X_i)$ = Rango de mediana para un nivel de confianza $(1-\alpha)$, donde α es el nivel de significancia y toma el valor de 0.5 para este estimador.

i: Orden de la falla.

n: Número total de datos de la muestra.

$F_{1-\alpha, 2(n-i+1), 2i}$: Valor crítico de la distribución F de Snedecor, evaluada en el nivel de significancia α y con grados de libertad $v_1 = 2(n-i+1)$ y $v_2 = 2i$

Generalmente el rango de mediana se aproxima mediante la siguiente expresión.

$$RM(X_i) = \frac{n-0,3}{n+0,4} \tag{Ec.6.5}$$

Donde:

$RM(X_i)$: Rango de mediana.

i: Orden de falla.

n: Número total de datos de la muestra.

Determinar la pendiente β :

$$\beta = \frac{n \cdot \sum x \cdot y - \sum x \cdot \sum y}{n \cdot \sum(x^2) - \sum(x)^2}$$

Determinar el corte con el eje b:

$$b = \frac{\sum y - \beta \cdot \sum x}{n}$$

6.7. Metodología

6.7.1. Diagramas de flujo de cada interfaz

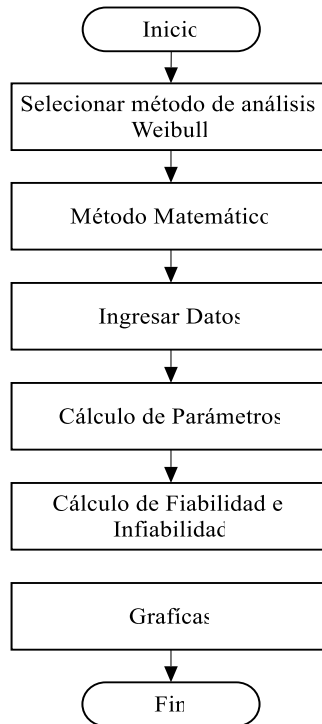


Fig. 6. 8. Diagrama de flujo del programa para el método matemático.

Fuente: Autor

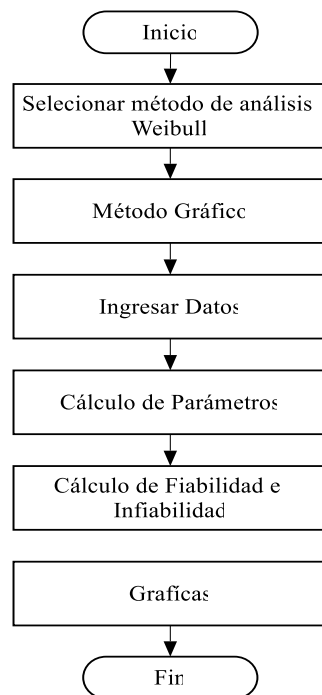


Fig. 6. 9. Diagrama de flujo del programa para el método gráfico.

Fuente: Autor

6.7.1.1. Diagramas de flujo comunes para los dos métodos

En la Figura 6.10 a la 6.12 se muestran los diagramas de flujo comunes para los dos métodos de análisis

- **Selección método de weibull**

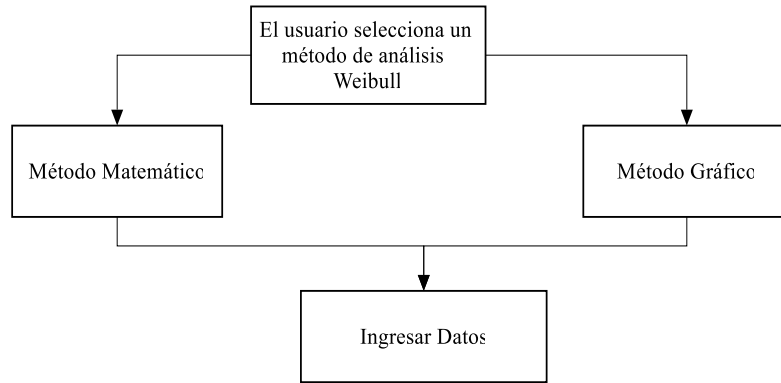


Fig. 6. 10. Diagrama de flujo tipo de método de análisis Weibull
Fuente: Autor

- **Cargar datos**

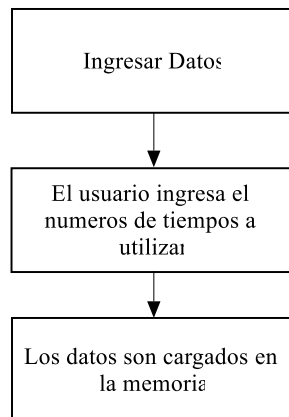


Fig. 6. 11. Diagrama de flujo de la carga de datos.
Fuente: Autor

- **Graficas**

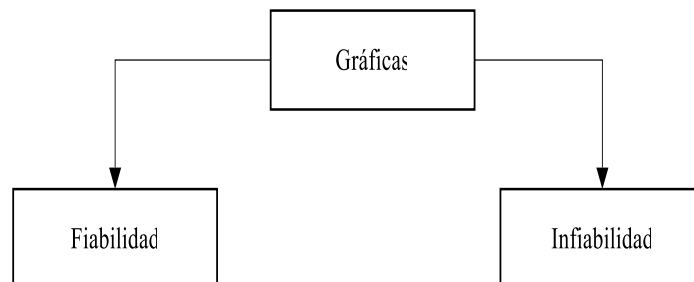


Fig. 6. 12. Diagrama de flujo de Figuras.
Fuente: Autor

6.7.1.2. Diagramas según cada interfaz

- **Método Matemático**

En la Figura 6.13, se muestra el diagrama de flujo para el cálculo de los parámetros de Weibull con el modelo matemático.

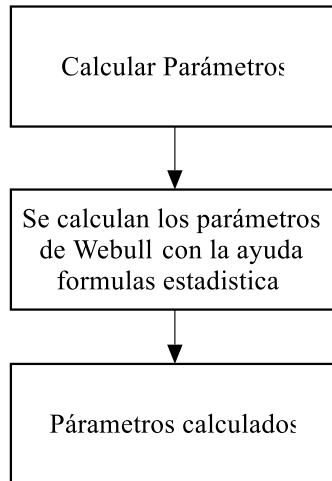


Fig. 6. 13. Diagrama de flujo calcular parámetros método matemático
Fuente: Autor

- **Método Gráfico**

En la Figura 6.14, se muestra el diagrama de flujo para el cálculo de los parámetros de Weibull con el modelo gráfico.

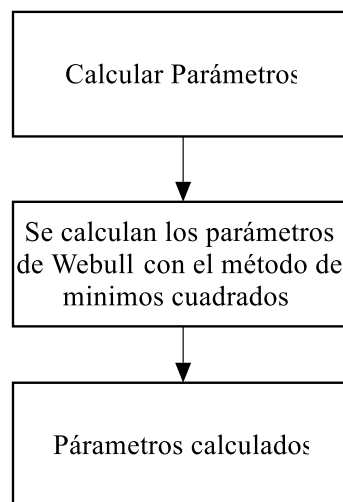


Fig. 6. 14. Diagrama de flujo calcular parámetros método gráfico
Fuente: Autor

6.7.2. Desarrollo del programa de fiabilidad mediante weibull en el software especializado

El desarrollo de la programación comienza con la elaboración de una interfaz donde se van a ingresar los datos de entrada que se tienen, es decir los tiempos de operación y como estos tienen que ser graficados se escoge una interfaz gráfica, como se muestra en la Figura 6.15.

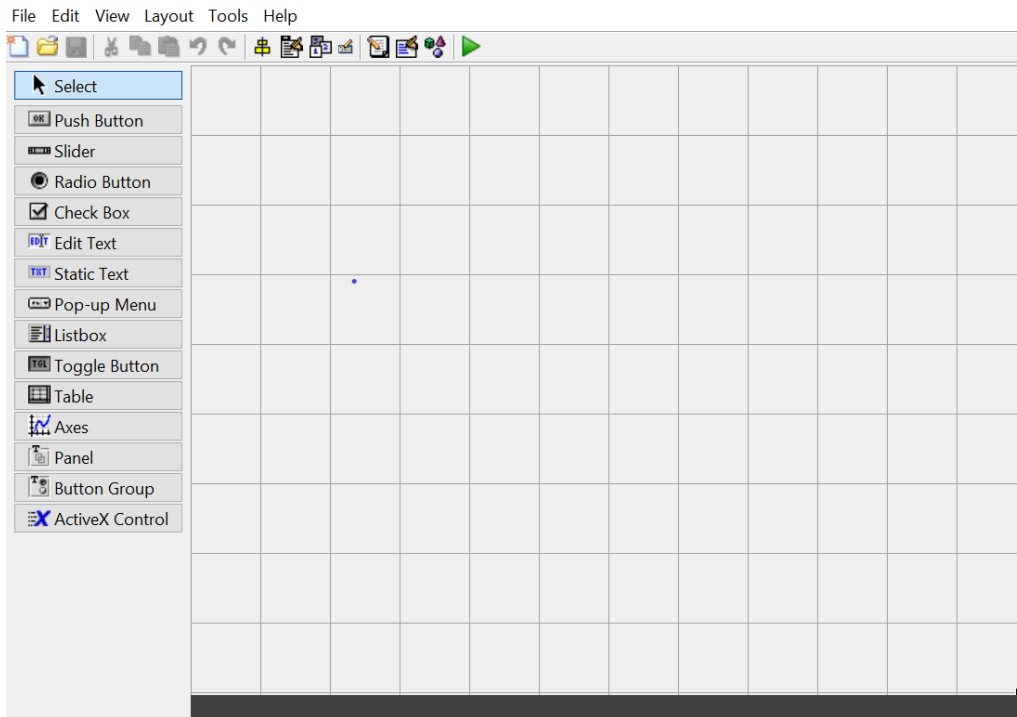


Fig. 6. 15. Pantalla inicial de un guide vacío.
Fuente: Elaboración propia Software Especializado

Una vez que se tiene la interfaz para ingresar los datos, se crean botones según el tipo de operaciones que se vaya a realizar; en la Figura 6.16, se observan los botones que se han creado, se visualiza un cuadro con el nombre **“INGRESAR DATOS”**, el cual sirve para colocar los datos de los registros de tiempos de operación los mismos que servirán para los cálculos posteriores.

Con el botón llamado **“CALCULAR”**, se podrá ejecutar los cálculos de los parámetros de Weibull así como también los valores de Fiabilidad e Infiabilidad, el botón se activará una vez ingresados los datos de tiempos de operación.

Con el botón llamado **“GRAFICAS”**, el cual establece el tipo de graficas que se podrán visualizar posteriormente realizado los cálculos como son la gráfica de la fiabilidad e Infiabilidad.

Con el botón llamado **“GUARDAR IMAGEN”**, se podrá guardar las imágenes que se muestran en la interfaz en un directorio que el usuario seleccione.

El botón llamado **“LIMPIAR IMAGEN”**, ayudara a limpiar el área donde se muestra la gráfica de Fiabilidad e Infiabilidad.

Con el botón llamado **“EXPORTAR”**, se podrá exportar los datos a Excel de la tabla que almacena los valores correspondientes al cálculo de la fiabilidad

El botón llamado **“LIMPIAR”**, ayudara a limpiar el panel y la tabla que almacena los parámetros y cálculos de la fiabilidad de Weibull respectivamente.

Por último se tiene un botón llamado **“CERRAR”**, con el cual se cerrara la interfaz.

6.7.2.1. Interfaz gráfica para el análisis de la fiabilidad mediante la ley de weibull



Fig. 6. 16. Pantalla de inicio del software de fiabilidad mediante la ley de Weibull.

Fuente: Elaboración propia Software Especializado

Antes que nada deberemos tener claro los métodos que vamos analizar, en este caso el método gráfico y matemático, en la pestaña “*MENU*” de la Figura 6.16, nos permitirá acceder al método que se desee utilizar.

6.7.2.2. Interfaz gráfica para el análisis de la fiabilidad mediante el método gráfico de Weibull

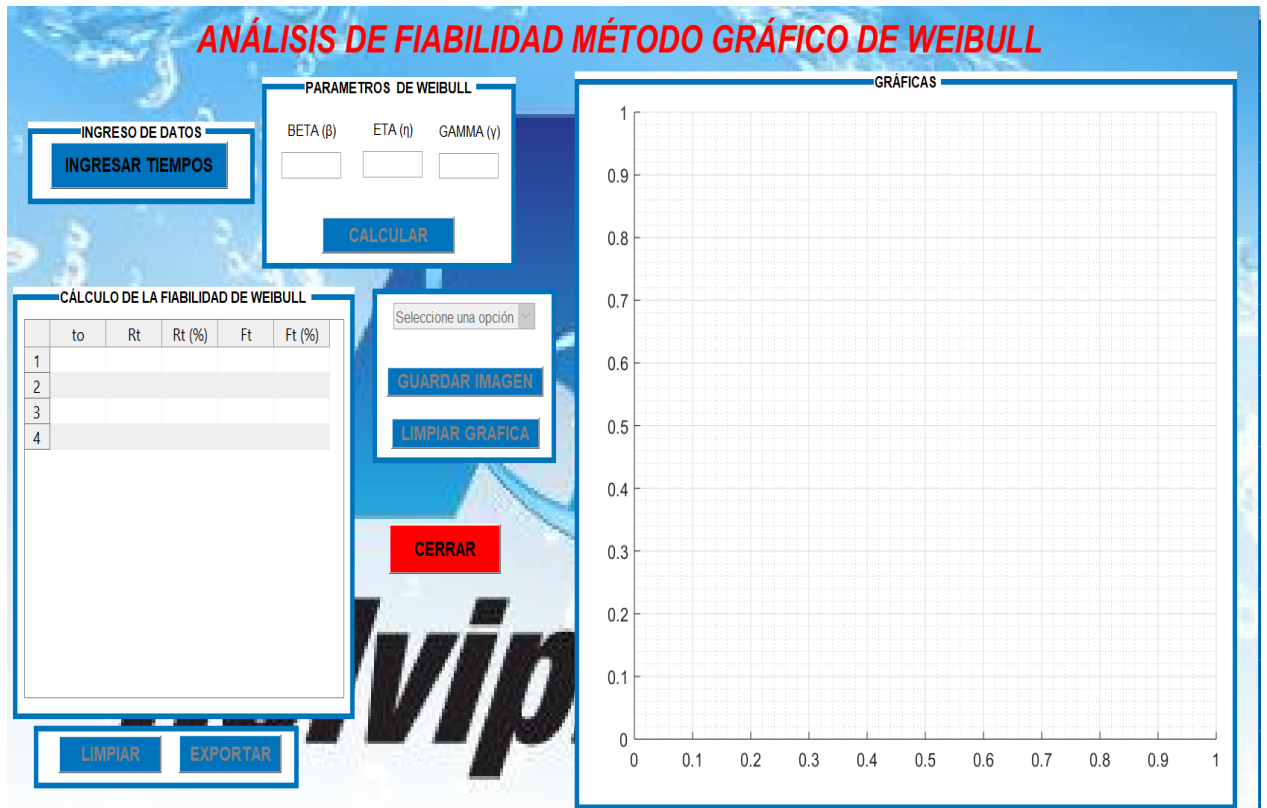


Fig. 6. 17. Interfaz gráfica para el análisis de la fiabilidad método gráfico.
Fuente: Elaboración propia Software Especializado

Para iniciar el análisis debemos presionar el botón “*INGRESAR TIEMPOS*”, que se muestra en la Figura 6.18 con el cual colocaremos el número total de tiempos de operación que se va a utilizar para el análisis.

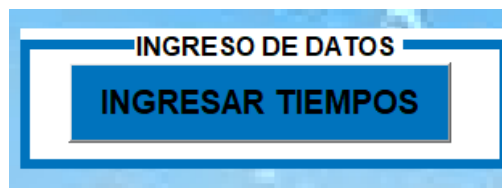


Fig. 6. 18. Botón ingresar datos
Fuente: Elaboración propia Software Especializado

En la Figura 6.19, se muestra el código utilizado para el botón “*INGRESAR TIEMPOS*”


```

function ingresardatos_Callback(hObject, eventdata, handles)
set(handles.calcular, 'Enable', 'on');
n=str2double(inputdlg('Ingrese la cantidad de datos'));
for i=1:n
    etiqueta=['Ingrese el ', num2str(i), 'o dato de tiempo:'];
    x(i)=str2double(inputdlg(etiqueta));
    x=sort(x);
end
xbarra=mean(x);
tiempos=[x'];
set(handles.uitable1, 'Data', tiempos);
handles.x=x;
guidata(hObject, handles)
handles.n=n;
guidata(hObject, handles)

```

Fig. 6. 19. Código para botón ingresar datos
Fuente: Elaboración propia Software Especializado

Una vez ingresado los tiempos de operación, nos ubicamos en el panel llamado “**PARÁMETROS DE WEIBULL**”, como se muestra en la Figura 6.20.

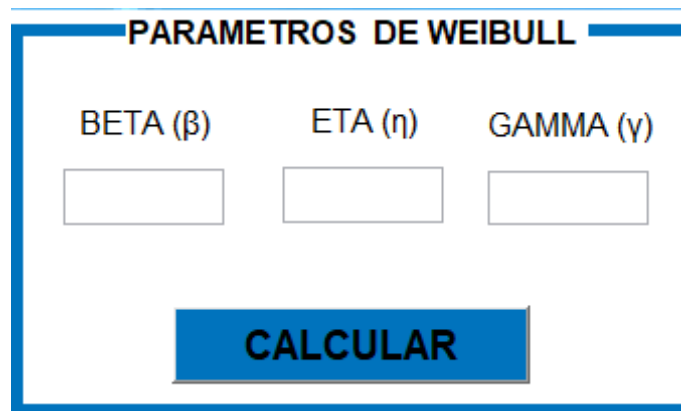


Fig. 6. 20. Panel de parámetros de Weibull método grafico
Fuente: Elaboración propia Software Especializado

Luego de ubicarnos en el panel de parámetros debemos presionar el botón “**CALCULAR**”, que se muestra en la Figura 6.21.



Fig. 6. 21. Botón “Calcular” método gráfico.
Fuente: Elaboración propia Software Especializado

En la Figura 6.22, se muestra en código utilizado para el botón “calcular” para el método gráfico.

```

function calcular_Callback(hObject, eventdata, handles)
% Activar botones
set(handles.graficas, 'Enable', 'on');
set(handles.limpiar, 'Enable', 'on');
set(handles.exportar, 'Enable', 'on');
% Calculos
T=handles.x;
a=handles.n;
for i=1:a
    %FORMULA DE AJUSTE MEDIANTE EL MÉTODO DE RANGOS MEDIANOS DE BENARD
    MR = ([1:length(T)]-0.3)/(length(T)+0.4);
    x=log(T);
    y=log(log(1./(1-MR)));
    Pol=polyfit(x,y,1);
    Beta = Pol(1);
    Eta = exp((Pol(2)/(-Pol(1))));
    Gama=0;
    R=exp(-((T-Gama)/Eta).^(Beta));
    rt=R*100;
    F=(1-R);
    ft=F*100;

```

Fig. 6. 22. Código para el botón “Calcular” método gráfico.
Fuente: Elaboración propia Software Especializado

Luego de haber presionado el botón calcular se nos mostrara el valor de los siguientes parámetros β , η , y γ , como se muestra en la Figura 6.23.

| PARAMETROS DE WEIBULL | | |
|-----------------------|----------------|--------------------|
| BETA (β) | ETA (η) | GAMMA (γ) |
| 2.24346 | 562.668 | 0 |
| CALCULAR | | |

Fig. 6. 23. Parámetros de Weibull método gráfico.
Fuente: Elaboración propia Software Especializado

Además de la información anterior, al presionar el botón “**CALCULAR**”, también se visualizaran los valores de tiempos de operación, Fiabilidad e Infiabilidad de Weibull como se muestra en la Figura 6.24.

| CÁLCULO DE LA FIABILIDAD DE WEIBULL | | | | | |
|-------------------------------------|----------|--------|---------|--------|---------|
| | to | Rt | Rt (%) | Ft | Ft (%) |
| 1 | 120 | 0.9693 | 96.9259 | 0.0307 | 3.0741 |
| 2 | 261 | 0.8366 | 83.6552 | 0.1634 | 16.3448 |
| 3 | 381 | 0.6590 | 65.9030 | 0.3410 | 34.0970 |
| 4 | 382 | 0.6574 | 65.7411 | 0.3426 | 34.2589 |
| 5 | 502.5000 | 0.4603 | 46.0286 | 0.5397 | 53.9714 |
| 6 | 502.5000 | 0.4603 | 46.0286 | 0.5397 | 53.9714 |
| 7 | 526.5000 | 0.4225 | 42.2518 | 0.5775 | 57.7482 |
| 8 | 569 | 0.3586 | 35.8645 | 0.6414 | 64.1355 |
| 9 | 572 | 0.3543 | 35.4307 | 0.6457 | 64.5693 |
| 10 | 573 | 0.3529 | 35.2866 | 0.6471 | 64.7134 |
| 11 | 574.5000 | 0.3507 | 35.0711 | 0.6493 | 64.9289 |
| 12 | 619 | 0.2898 | 28.9761 | 0.7102 | 71.0239 |
| 13 | 645 | 0.2571 | 25.7051 | 0.7429 | 74.2949 |

Fig. 6. 24. Valores de Fiabilidad de Weibull calculados.
Fuente: Elaboración propia Software Especializado

El botón **“EXPORTAR”**, que se muestra en la Figura 6.25, permitirá guardar en una hoja de Excel, los datos de la tabla que contiene los valores de los cálculos de la fiabilidad.



Fig. 6. 25. Botón “Exportar”.
Fuente: Elaboración propia Software Especializado

En la Figura 6.26, se muestra en código utilizado para el botón **“EXPORTAR”**

```
function exportar_Callback(hObject, eventdata, handles)
    Nmatriz=handles.Z;
    guidata(hObject, handles)
    try
        formatos = {'*.xls', 'XLS (*.xls)'; '*.xlsx', 'XLSX (*.xlsx)'};
        [nomb,ruta] = uiputfile(formatos, 'GUARDAR Distribución de Frecuencia');

        if or(and(isempty(nomb), isempty(ruta)), nomb==0)
            msgbox('No indico un nombre para guardar archivo', 'Aviso', 'warn');
        else
            Nmatriz=handles.Z;
            xlswrite([ruta nomb], Nmatriz)

        end
    catch
    end
end
```

Fig. 6. 26. Código para el botón “Exportar” método gráfico.
Fuente: Elaboración propia Software Especializado

El botón **“LIMPIAR”**, que se muestra en la Figura 6.27, ayudara a limpiar el área correspondiente a los parámetros y cálculos de la fiabilidad de Weibull.

LIMPIAR

Fig. 6. 27. Botón “Limpiar”

Fuente: Elaboración propia Software Especializado

En la Figura 6.28, se muestra en código utilizado para el botón “**LIMPIAR**”

```
function limpiar_Callback(hObject, eventdata, handles)
set(handles.uitable1, 'Data', {});
%limpiar textboxes
set(handles.edit1, 'string', '');
set(handles.edit2, 'string', '');
set(handles.edit3, 'string', '');
set(handles.edit4, 'string', '');
set(handles.edit5, 'string', '');
set(handles.edit6, 'string', '');
```

Fig. 6. 28. Código para el botón “Limpiar”

Fuente: Elaboración propia Software Especializado

El menú desplegable “**GRÁFICAS**” de la Figura 6.29, permite visualizar las opciones de gráficas de Fiabilidad e Infiabilidad

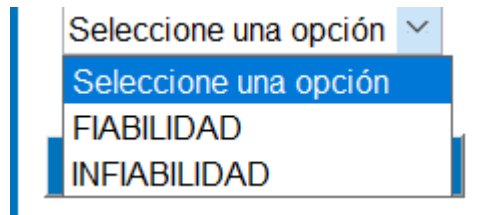


Fig. 6. 29. Menú desplegable para graficas

Fuente: Elaboración propia Software Especializado

En la Figura 6.30 y 6.31, se muestra el código utilizado para el menú desplegable “Graficas”

```
switch opcion
case 1
    %%Seleccione una opcion

case 2
    axes(handles.grafica);
    %GRAFICA FIABILIDAD
    plot(To,Rt, 'ro', 'markersize', 4, 'markerfacecolor', 'r')
    hold on
    grid on
    plot(xx,yy, 'LineWidth', 2)
    hold on
    title('FIABILIDAD DE WEIBULL', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12, 'color', 'k')
    xlabel('Tiempo de operación (h)', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12, 'color', 'r')
    ylabel('Fiabilidad R(t)%', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12, 'color', 'r')
    grid on
    hold off
```

Fig. 6. 30. Código para el menú desplegable para graficas

Fuente: Elaboración propia Software Especializado

```

case 3
    axes(handles.grafica);
%GRAFICA INFIABILIDAD
plot(To,Ft,'ro','markersize',4,'markerfacecolor','r')
hold on
plot(xx1,yy1,'LineWidth',2)
hold on
title('INFIABILIDAD DE WEIBULL','FontName','Times New Roman','FontSize',12,'color','k')
xlabel('Tiempo de operación (h)','FontName','Times New Roman','FontSize',12,'color','r')
ylabel('Infiabilidad F(t)%','FontName','Times New Roman','FontSize',12,'color','r')
grid on
hold off
end

```

Fig. 6. 31. Código para el menú desplegable para graficas
Fuente: Elaboración propia Software Especializado

La Figura 6.32, muestra la gráfica de la fiabilidad para el método gráfico de Weibull

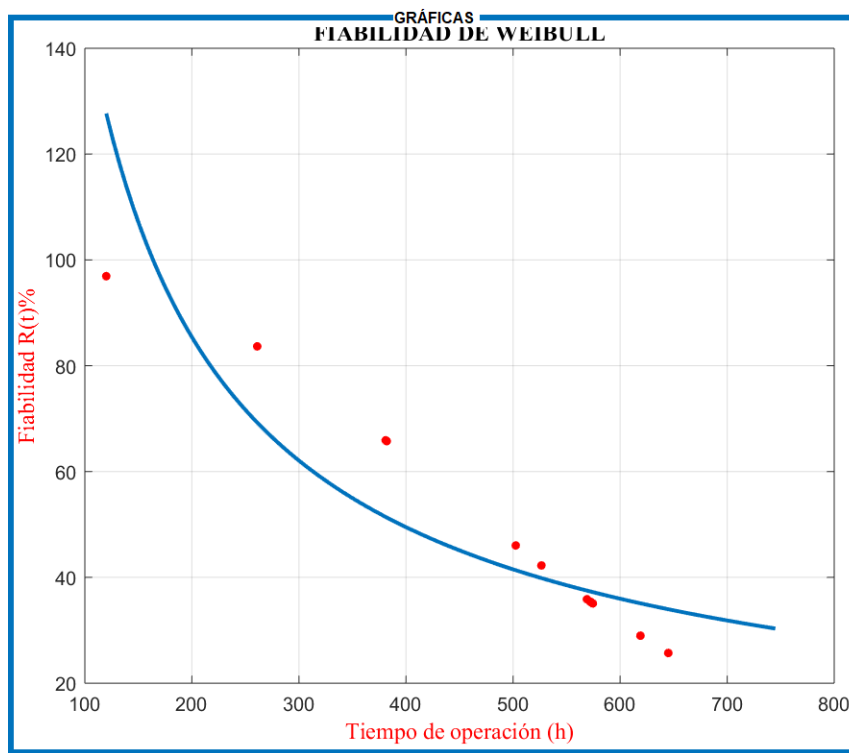


Fig. 6. 32. Gráfica de la fiabilidad método gráfico.
Fuente: Elaboración propia Software Especializado

El botón **“GUARDAR IMAGEN”**, que se muestra en la Figura 6.33, permitirá guardar las gráficas de fiabilidad e Infiabilidad en un directorio seleccionado por el usuario.



Fig. 6. 33. Botón “Exportar”.
Fuente: Elaboración propia Software Especializado

En la Figura 6.34, se muestra en código utilizado para el botón **“GUARDAR IMAGEN”**

```
function guardarimagen_Callback(hObject, eventdata, handles)
    figura=figure(2);
    colormap('bone')
    set(figura, 'InvertHardcopy', 'off', 'Color', 'white');
    objeto_2 = copyobj(handles.grafica, figura);
    set(objeto_2, 'Units', 'normalized', 'Position', [0.12 0.12 .8 .8])
```

Fig. 6. 34. Código para el botón “Guardar imagen” método gráfico.
Fuente: Elaboración propia Software Especializado

El botón **“LIMPIAR GRÁFICA”**, que se muestra en la Figura 6.35, ayudara a limpiar el área correspondiente a los parámetros y cálculos de la fiabilidad de Weibull.



Fig. 6. 35. Botón “Limpiar gráfica”
Fuente: Elaboración propia Software Especializado

En la Figura 6.38, se muestra en código utilizado para el botón **“LIMPIAR GRÁFICA”**

```
function limpiargrafica_Callback(hObject, eventdata, handles)
    % limpiar grafica
    cla;
```

Fig. 6. 36. Código para el botón “Limpiar gráfica” método gráfico.
Fuente: Elaboración propia Software Especializado

Finalmente en la Figura 6.37 se muestra el botón **“CERRAR”** el cual al ser presionado cerrara la ventana y volverá a la pantalla de inicio.



Fig. 6. 37. Botón “Cerrar”
Fuente: Elaboración propia Software Especializado

En la Figura 6.38, se muestra en código utilizado para el botón **“CERRAR”**

```
function cerrar_Callback(hObject, eventdata, handles)
    opc=questdlg('¿Desea cerrar la ventana?', 'SALIR', 'SI', 'NO', 'NO');
    if strcmp(opc, 'NO')
        return
    end
    close_fcn(hObject);
function close_fcn(hObject, eventdata, handles)
    if strcmp(get(hObject, 'type'), 'uicontrol')
        delete(gcf);
    end
```

Fig. 6. 38. Código para el botón Cerrar.
Fuente: Elaboración propia Software Especializado

6.7.2.3. Interfaz gráfica para el análisis de la fiabilidad mediante el método matemático de Weibull

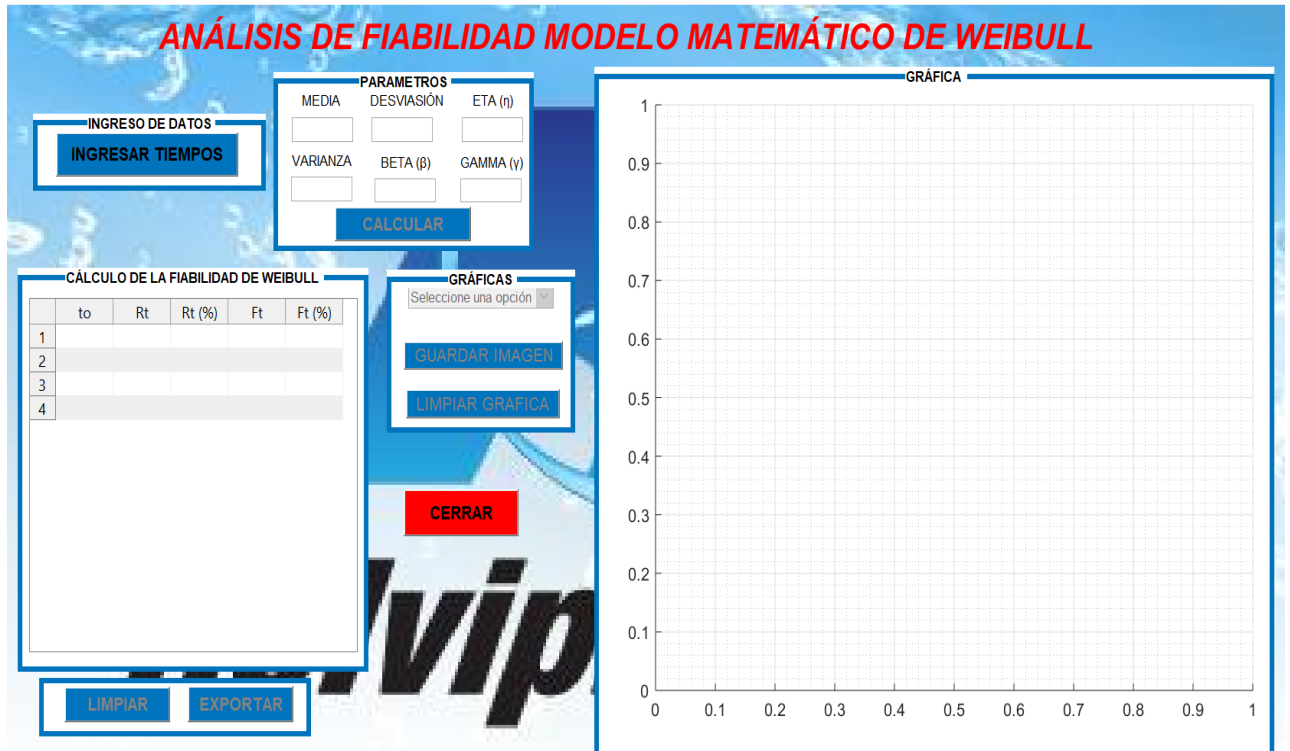


Fig. 6. 39. Interfaz gráfica para el análisis de la fiabilidad método matemático.

Fuente: Elaboración propia Software Especializado

En la Figura 6.39, se muestra la interfaz gráfica diseñada para el análisis de la fiabilidad mediante el método matemático de Weibull.

El botón “ingresar tiempos”, “limpiar”, “exportar”, “guardar imagen”, “limpiar gráfica”, “cerrar” y el menu desplegable para la selección de graficas que desea mostrar no se describirá, ya que su funcionamiento y configuración es exactamente el mismo que el descrito en la interfaz para el método gráfico.

Una vez ingresado los tiempos de operación, nos ubicamos en el panel llamado “*PARÁMETROS DE WEIBULL*”, como se muestra en la Figura 6.40.

| PARAMETROS DE WEIBULL | | |
|-----------------------|----------------------|----------------------|
| MEDIA | DESVIACIÓN | ETA (η) |
| <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| VARIANZA | BETA (β) | GAMMA (γ) |
| <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| CALCULAR | | |

Fig. 6. 40. Panel de parámetros de Weibull método matemático
Fuente: Elaboración propia Software Especializado

Luego de ubicarnos en el panel de parámetros debemos presionar el botón “*CALCULAR*”, que se muestra en la Figura 6.41.



Fig. 6. 41. Botón “Calcular” método gráfico.
Fuente: Elaboración propia Software Especializado

En la Figura 6.42, se muestra en código utilizado para el botón “calcular” para el método gráfico.

```

function calcular_Callback(hObject, eventdata, handles)
% Activar botones
set(handles.graficas, 'Enable', 'on');
set(handles.limpiar, 'Enable', 'on');
set(handles.exportar, 'Enable', 'on');
% Calculos
T=handles.x;
a=handles.n;
for i=1:a
    nn=length(T);
    A=log(T);
    m=sum(A);
    Media=m/nn;
    R=(A-Media).^2;
    o=sum(R);
    Varianza=o/(nn-1);
    Desviacion=sqrt(Varianza);
    Beta=pi/(Desviacion*sqrt(6));
    Alfa=exp(Media+(0.5772/Beta));
    Gamma=0;
    R=exp(-((T-Gamma)/Alfa).^(1/Beta));
    rt=R*100;
    F=(1-R);
    ft=F*100;

```

Fig. 6. 42. Código para el botón “Calcular” método gráfico.
Fuente: Elaboración propia Software Especializado

Luego de haber presionado el botón calcular se nos mostrara el valor de los siguientes parámetros media aritmética, desviación estándar, varianza, β , η y γ , como se muestra en la Figura 6.43.

PARAMETROS DE WEIBULL

| | | |
|----------|------------------|--------------------|
| MEDIA | DESVIACIÓN | ETA (η) |
| 6.09542 | 0.466078 | 547.396 |
| VARIANZA | BETA (β) | GAMMA (γ) |
| 0.217229 | 2.75179 | 0 |

CALCULAR

Fig. 6. 43.Parámetros de Weibull método matemático
Fuente: Elaboración propia Software Especializado

Además de la información anterior, al presionar el botón “*CALCULAR*”, también se visualizaran los valores de tiempos de operación, Fiabilidad e Infiabilidad de Weibull como se muestra en la Figura 6.44.

| CÁLCULO DE LA FIABILIDAD DE WEIBULL | | | | | |
|--|----------|--------|---------|--------|---------|
| | to | Rt | Rt (%) | Ft | Ft (%) |
| 1 | 120 | 0.5621 | 56.2103 | 0.4379 | 43.7897 |
| 2 | 502.5000 | 0.3793 | 37.9318 | 0.6207 | 62.0682 |
| 3 | 619 | 0.3515 | 35.1450 | 0.6485 | 64.8550 |
| 4 | 572 | 0.3620 | 36.2002 | 0.6380 | 63.7998 |
| 5 | 382 | 0.4158 | 41.5841 | 0.5842 | 58.4159 |
| 6 | 569 | 0.3627 | 36.2705 | 0.6373 | 63.7295 |
| 7 | 645 | 0.3460 | 34.5958 | 0.6540 | 65.4042 |
| 8 | 261 | 0.4658 | 46.5787 | 0.5342 | 53.4213 |
| 9 | 574.5000 | 0.3614 | 36.1419 | 0.6386 | 63.8581 |
| 10 | 526.5000 | 0.3731 | 37.3083 | 0.6269 | 62.6917 |
| 11 | 502.5000 | 0.3793 | 37.9318 | 0.6207 | 62.0682 |
| 12 | 573 | 0.3618 | 36.1768 | 0.6382 | 63.8232 |
| 13 | 381 | 0.4162 | 41.6189 | 0.5838 | 58.3811 |

Fig. 6. 44.Valores de Fiabilidad de Weibull calculados.
Fuente: Elaboración propia Software Especializado

La Figura 6.45, muestra la gráfica de la fiabilidad para el método matemático de Weibull

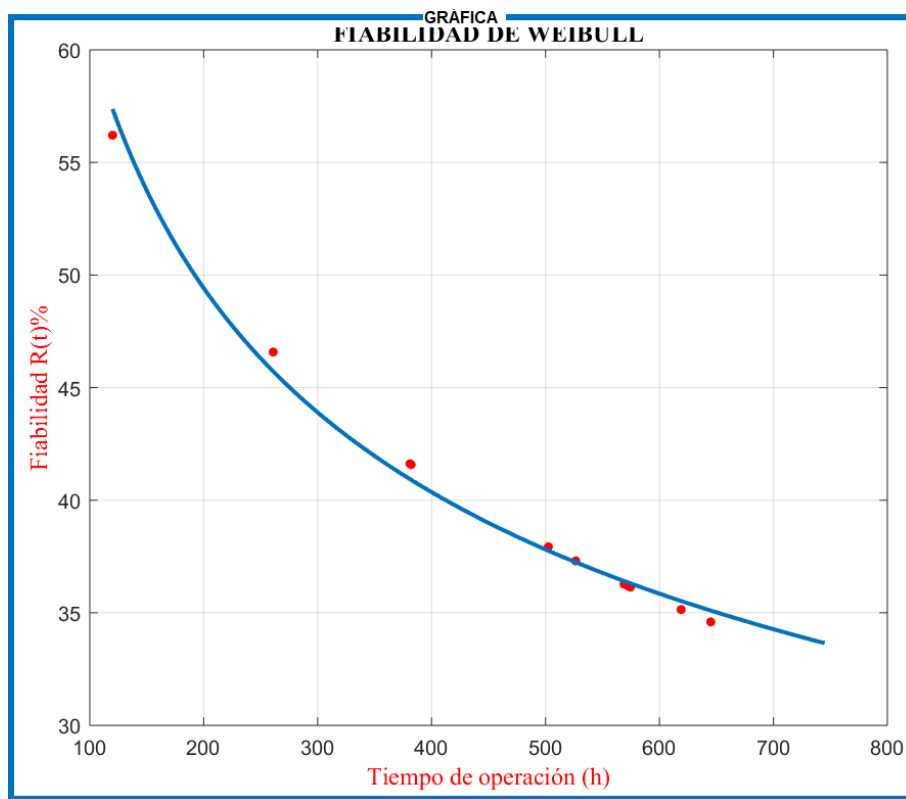


Fig. 6. 45. Grafica de la fiabilidad método matemático.
Fuente: Elaboración propia Software Especializado

Para finalizar y cerrar el programa de Fiabilidad de Weibull debemos dar click en la opción salir como se muestra en la Figura 6.46.



Fig. 6. 46. Opción Salir del programa
Fuente: Elaboración propia Software Especializado

6.8 Administración

A continuación se presenta un análisis del costo económico del presente proyecto, estudiando los costos directos e indirectos, incluyendo un 10% del valor calculado para imprevistos y así obtener un valor apropiado reservando un margen para imprevistos de ser necesario.

Tabla 6. 4. Costos

| COSTOS | | | | |
|---------------------------|---------------|-----------------|------------------------------|--------------------|
| Costos Directos | | | | |
| Descripción | Unidad | Cantidad | Precio Unitario (USD) | Costo (USD) |
| Hojas de Papel Formato A4 | Resma | 5 | 5,00 | 25,00 |
| Remuneración del Autor | Unidad | 1 | 400,00 | 400,00 |
| Servicio de Internet | Horas | 200 | 0,50 | 100,00 |
| Bibliografía | Unidad | | 250,00 | 250,00 |
| Fotocopias | Copias | 1200 | 0,02 | 24,00 |
| Desarrollo del Programa | Unidad | 1 | 800,00 | 800,00 |
| Impresiones | Impresiones | 2000 | 0,10 | 200,00 |
| Anillados | | 6 | 5,00 | 30,00 |
| Empastados | | 3 | 30,00 | 90,00 |
| Transporte | Unidad | 1 | 200,00 | 200,00 |
| Subtotal 1 | | | | 2119,00 |
| Costos Indirectos | | | | |
| Ayudante de Programación | Unidad | 1 | 200,00 | 200,00 |
| Subtotal 2 | | | | 200,00 |
| Costo Total | | | | |
| Costo Total | | | | 2319,00 |
| 10% Imprevistos | | | | 231,90 |
| Costo Total | | | | 2550,90 |

Fuente: Autor

6.9. Previsión de la evaluación

La investigación propone servir de base para empresas dedicadas a procesos similares como lo es la producción de tubería plástica, desarrollando un software que ayuden a mejorar la disponibilidad y fiabilidad de la maquinaria.

La investigación tendrá aporte significativo para nuevos proyectos en el ámbito de mantenimiento, debido a que se muestra el procedimiento apropiado para la determinación de la fiabilidad con la ayuda de un software especializado para mantenimiento.

Mediante el software implementado la empresa podrá determinar con los cálculos de los valores de fiabilidad obtenidos y las Figuras de Weibull como afecta a la disponibilidad.

La empresa ya podrá mediante el software obtener los datos de fiabilidad matemáticamente y gráficamente, podrá compararlos con la disponibilidad y con ello podrá realizar un balance genérico o estandarizado de los procesos antes de ser de ser utilizados en la empresa.

Si la empresa optara por realizar los cálculos manualmente o con la ayuda de un software en función parámetros que se necesita para el análisis tendría que emplear mucho tiempo, hoy en día con la ayuda de software implementado el usuario deberá solamente colocar los datos de tiempo de operación para obtener los valores de fiabilidad y sus graficas de manera inmediata.

Bibliografía

- [1] C. Carrión, “Análisis del estado actual de máquinas, equipos y sistemas y su influencia en la fiabilidad en la florícola la Rosaleda S.A. en la provincia de Cotopaxi” Tesis de grado, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2015.
- [2] S. Sánchez, “Estudio del estado actual de las máquinas y equipos de laboratorio de la carrera de ingeniería mecánica de la Universidad Técnica de Ambato y su incidencia en la fiabilidad” Tesis de grado, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2014.
- [3] H. Ronquillo, “Estudio del estado actual de la maquinaria de la empresa Agrocueros S. A y su incidencia en la disponibilidad” Tesis de grado, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2015.
- [4] V. Apolo y D. Gordillo, "Determinación de la fiabilidad de un motor corsa evolution 1.4L a partir del análisis de modos de fallas en línea basado en la distribución de Weibull" Tesis de grado, Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana, 2017.
- [5] 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, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2019.
- [6] D. Coque, "Estudio de parámetros técnicos en el proceso de pulido mecánico y su efecto en la productividad de maíz blanco de la empresa inklersa S.A. en el Mercado Mayorista de Ambato" Tesis de grado, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2015.
- [7] C. Raquel, L. Victoria y M. Guadalupe, «La ingeniería de fiabilidad de sistemas informáticos a través de EMSI,» *Revista Elementos*, vol. 3, pp. 93-94, 2015.
- [8] J. Ninacuri, “Análisis de mantenimiento de la maquinaria pesada del gobierno autónomo descentralizado municipal del cantón Pastaza y su incidencia en la disponibilidad” Tesis de grado, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2016.
- [9] W. Robalino, “Estudio del estado actual de máquinas y equipos de carrocerías Cepeda CIA. LTDA. de la ciudad de Ambato y su incidencia en los lineamientos del sistema de auditorías de riesgos del trabajo SART” Tesis de grado, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2015.

- [10] M. C. Alfaro Antor y G. Aranda Domínguez, “El análisis causa raíz utilizado como herramienta en la evaluación de eventos no deseados en instalaciones de una refinería”. Tesis de grado, México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2014.
- [11] J. Díaz, Técnicas de mantenimiento industrial, Unión Europea: Calpe Institute of Technology, 2010.
- [12] M. Bestratén Belloví, R. M. Orriols Ramos y C. Mata París, NTP 679: Análisis modal de fallos y efectos. AMFE, 2004.
- [13] E. Pico, "Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para la inyectora de poliuretano de la empresa Calzado Marcia - Buffalo Industrial" Tesis de grado, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2016.
- [14] J. Tamborero del Pino, NTP 331: Fiabilidad: la distribución de Weibull, 2016.
- [15] R. Salazar Moreno, E. Fitz Rodríguez, I. López Cruz y A. Rojano Aguilar, Confiabilidad y Análisis de Fallas utilizando la Distribución Weibull, México: Universidad Autónoma Chapingo, 2017.
- [16] R. J. Alvarez Miranda, “Análisis de modos de falla para mejorar la fiabilidad en los motores caterpillar serie 3500 de la estación guanta bloque 56 de la empresa petroamazonas ep”. Tesis de grado, Riobamba: Escuela Politecnica de Chimborazo, 2017.
- [17] J. Cruz, "Estudio del proceso de troquelado y su influencia en la producción de calzado en la provincia de Tungurahua" Tesis de Posgrado, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2016.
- [18] R. B. Abernethy, The New Weibull Handbook, 2004.
- [19] J. Paredes, "Análisis del blindaje del acero AISI 1045 por proyección térmica de aleación micropulverizada EUTALLOY 11496 y su influencia en la resistencia al desgaste superficial" Tesis de posgrado, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2017.
- [20] C. Morales, “Desarrollar un plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria de la empresa imprenta “Morales” de la ciudad de Ambato” Tesis de grado, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2019.
- [21] Terminología para mantenimiento, UNE-EN 1306, 2015.

- [22] L. Penabad Sanz, A. M. Iznaga-Benítez, P. A. Rodríguez Ramos y C. Cazañas Marisy, «Disposición y disponibilidad como indicadores para el transporte,» *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 25, nº 4, p. 10, 2016.
- [23] C. Ortiz, de *El concepto del Tiempo Medio Entre Fallas (Mean Time Between Failures MTBF) y la Confiabilidad (Reliability) aplicados a los Departamentos Mantenimiento*, Relimans, 2016, pp. 1-3.
- [24] C. Alcalá Flores, M. J. Arteaga Herrera, D. G. Bastidad Rivera, V. Peraya Climaco, C. A. Rivera Ramírez y K. L. Toledo Nieves, "Modelo de gestión de mantenimiento para incrementar la calidad en el servicio en el departamento de alta tensión de STC metro de la ciudad de México". Tesis de grado, Zacatepec: Instituto Tecnológico de Zacatepec, 2019.
- [25] J. Barrera, "Estudio de los parámetros de mantenimiento en el patio automotriz del Ministerio de Transporte y obras públicas del cantón Ambato y su incidencia en su disponibilidad" Tesis de grado, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2015.
- [26] C. Alavedra Flores, Y. Gastelu Pinedo, G. Méndez Orellana, C. Minaya Luna, B. Pineda Ocas, K. Prieto Gilio y K. Ríos Mejía, *Gestión de mantenimiento preventivo y su relación con la disponibilidad de la flota de camiones 730e Komatsu-2013*, Chimbote: Universidad Nacional del Santa, 2016.
- [27] E. Fuenmayor, «Análisis de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de un sistema de bombeo. Tesis de grado,» *RDL Lubricación y Mantenimiento Industrial*, 2018, pp. 19-20.
- [28] C. Laguna, *Correlación y regresión lineal*, España: Instituto Arágones de Ciencias de la Salud, 2014.
- [29] J. Villena, "Análisis de la velocidad de combustión y su incidencia en los materiales utilizados en el interior de carrocería para vehículos" Tesis de grado, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2018.
- [30] N. Mena, "Análisis del proceso de taladrado del material compuesto de matriz polimérica reforzada con cascarilla de arroz" Tesis de grado, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2019.
- [31] H. Gutiérrez y R. De la Vara Salazar, *Análisis y diseño de experimentos*, México: McGraw-Hill, 2008.

- [32] M. Martínez, "Desarrollo del software para el cálculo de los parámetros de Weibull y aplicaciones en: análisis de fallas mecánicas y caracterización del potencial eólico" Tesis de grado, Vladivía: Universidad Austral de Chile, 2014.

ANEXOS

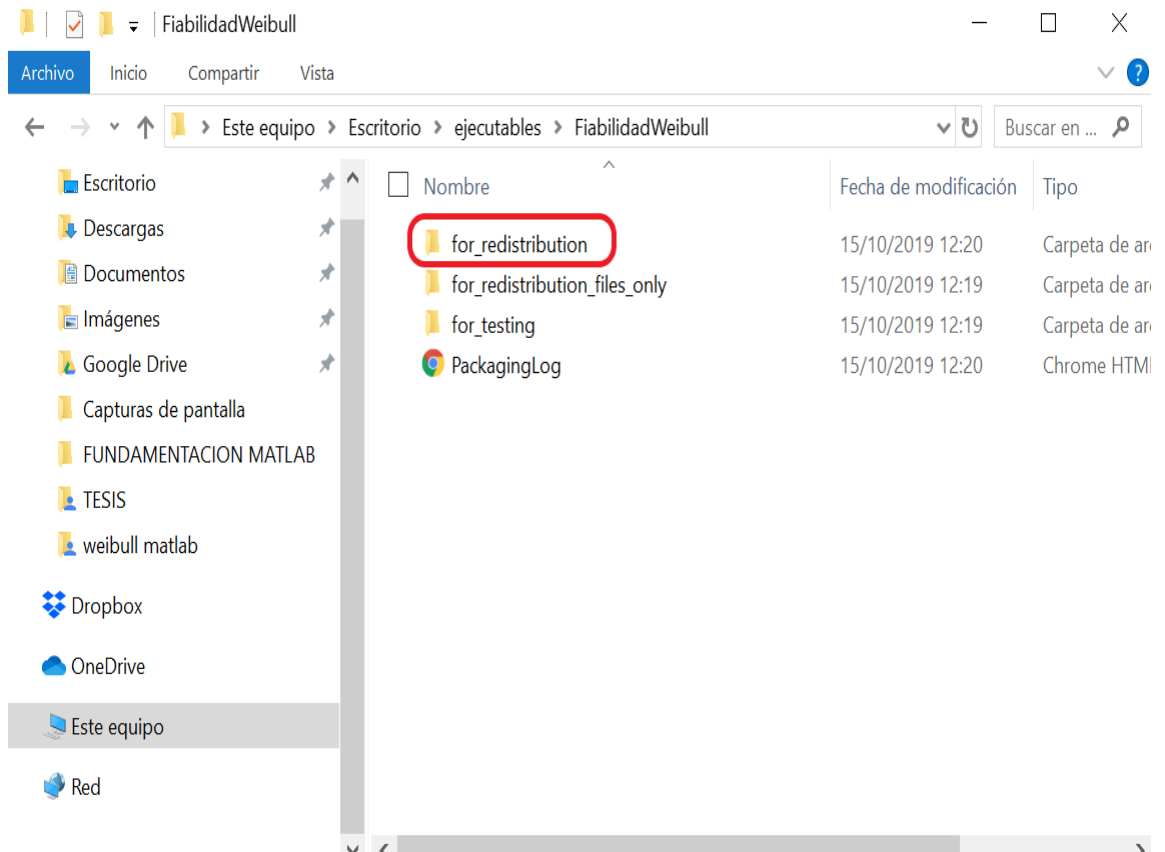
Anexo 1. Manual de usuario Software para la fiabilidad mediante la ley de weibull.

MANUAL DE USUARIO DEL PROGRAMA DE ANÁLISIS DE LA FIABILIDAD DE MÁQUINAS Y EQUIPOS MEDIANTE LA LEY DE WEIBULL

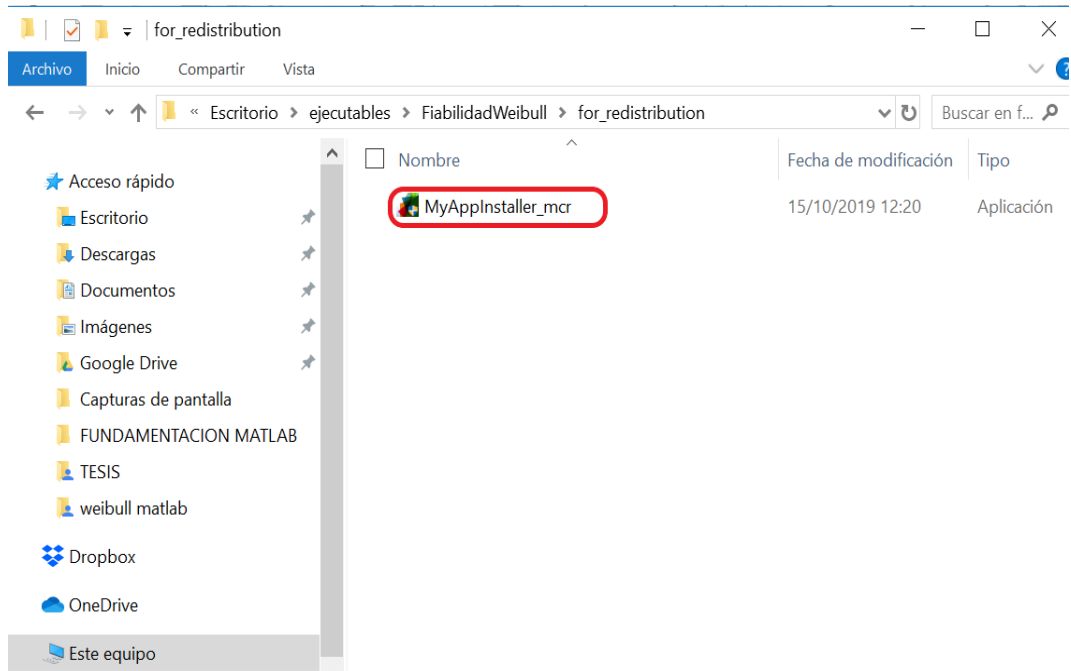
El programa permite realizar un análisis de fiabilidad mediante el método estadístico de la ley de Weibull y visualizar las gráficas de fiabilidad e Infiabilidad para realizar comparaciones con las diferentes etapas de la curva de la bañera.

Manual de instalación del programa

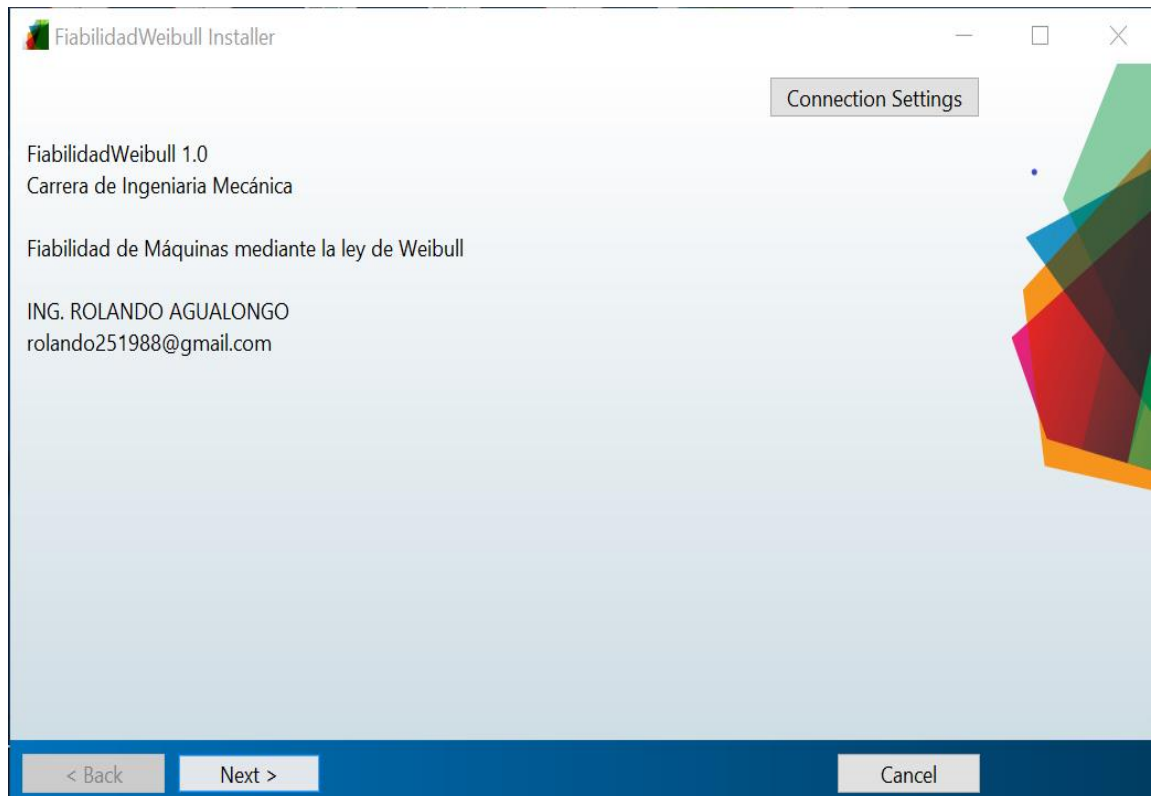
1. Abrir la carpeta FiabilidadWeibull → for_redistribution donde se encuentra en instalador del programa.



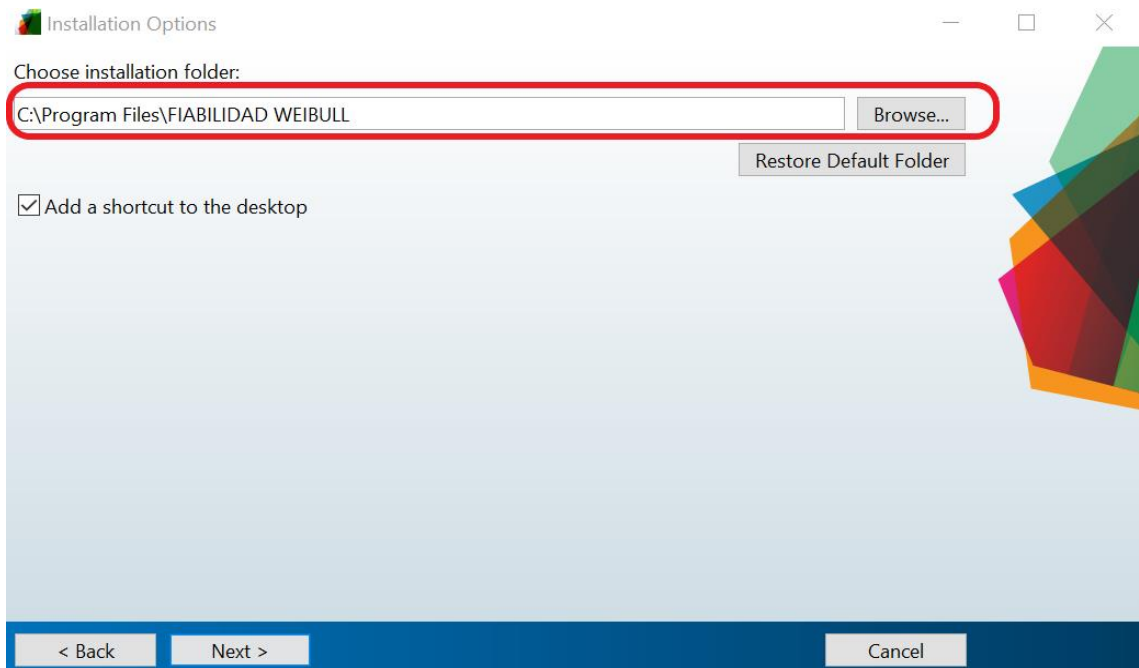
2. Ejecutar la aplicación MyAppInstaller_mcr como administrador.



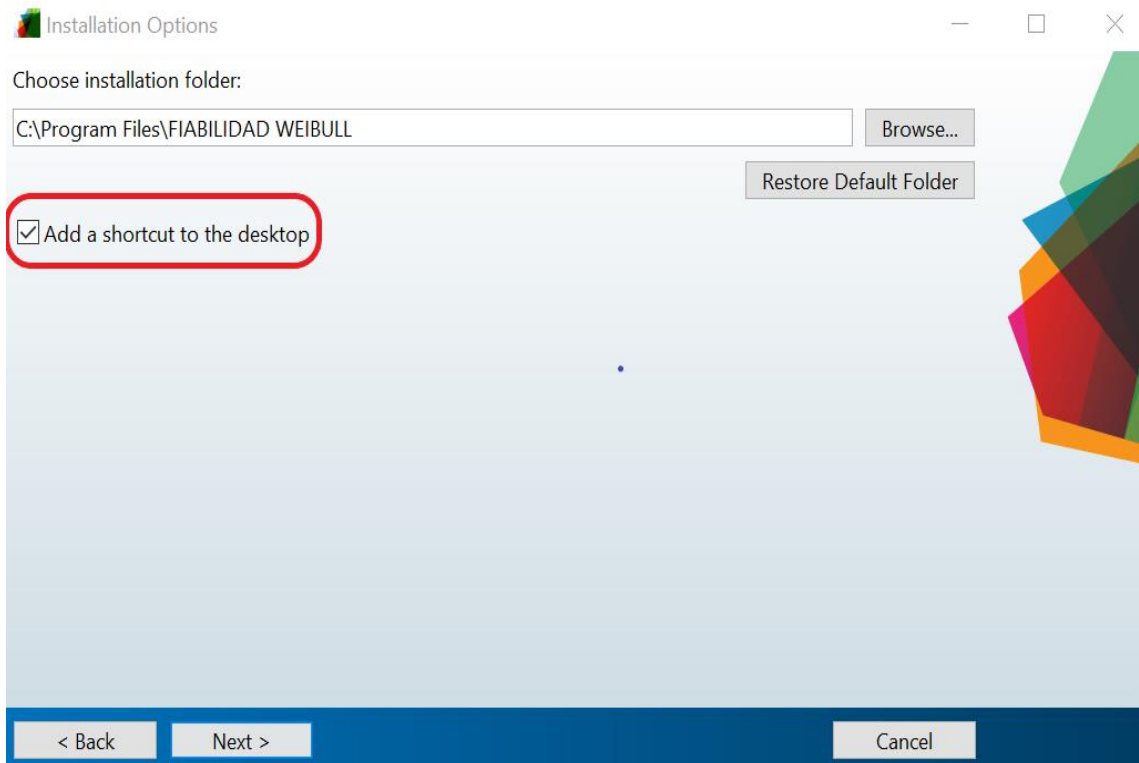
3. Dar clic en Next en la ventana que se muestra a continuación.



4. Escoger la ruta de instalación



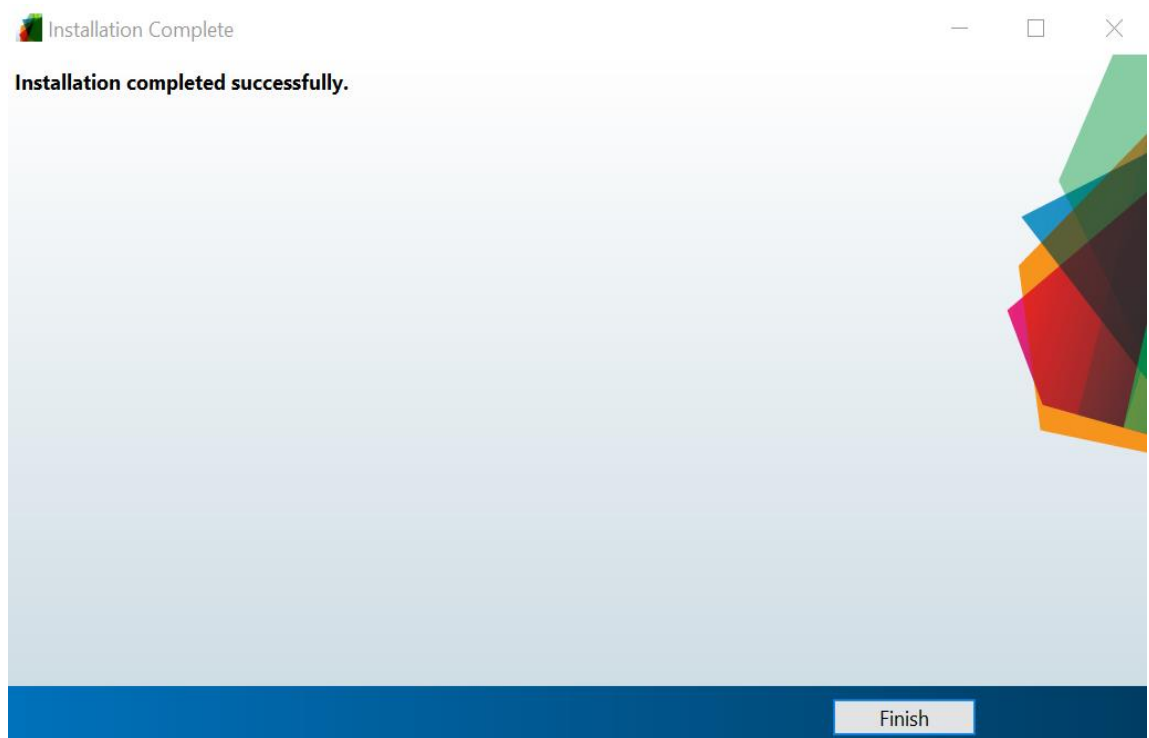
5. Activar la pestaña Add a shortcut to the desktop para crear el acceso directo en el escritorio



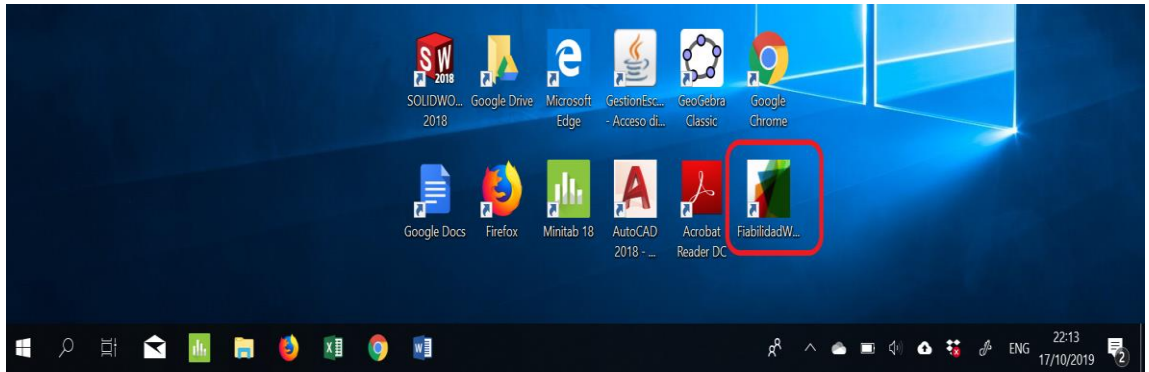
6. Dar clic en Next para iniciar la instalación.




7. Dar clic en Finish para finalizar la instalación.



8. Finalizado la instalación se creara un acceso directo en el escritorio.



9. Previo a la utilización del programa de fiabilidad de Weibull el usuario deberá colocar los valores de tiempos de operación a ser analizados en la hoja de Excel con nombre **Tiempos de operación.xlsx**, en el cual debe contener mínimo un tiempo de operación por cada actividad de mantenimiento realizada cada mes, de tener varia actividades en un mes se colocara la suma de sus tiempos, en la siguiente Figura se muestran los tiempos de operación para la tina de vacío determinados en el capítulo 4 en el estudio de tiempos.

| FIABILIDAD MEDIANTE LA LEY DE WEIBULL | |
|---|---|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA |
| | HOLVIPLAS S.A ÁREA DE EXTRUSIÓN |
| | Tiempo de operación |
| | 120 |
| | 502,5 |
| | 619 |
| | 572 |
| | 382 |
| | 569 |
| | 645 |
| | 261 |
| | 574,5 |
| | 526,5 |
| | 502,5 |
| | 573 |
| | 381 |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

10. Al abrir el programa se mostrara la siguiente pantalla de inicio

MENU SALIR



11. Dar click en el “MENÚ” el cual permitirá acceder a las ventanas de análisis de fiabilidad.

MENU SALIR

Metodo Matematico
Metodo Grafico



Aquí podemos encontrar los dos métodos desarrollados para el análisis de la fiabilidad mediante la ley de Weibull como son:

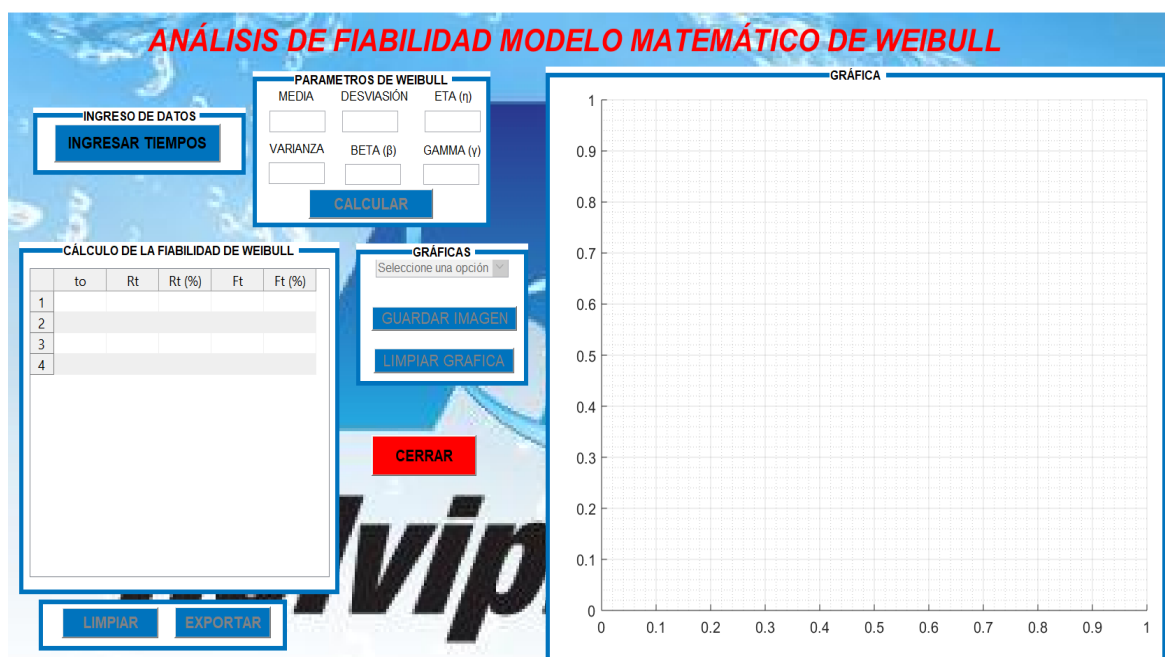
- Método Matemático
- Método Grafico

MANUAL DE USUARIO PARA EL ANÁLISIS DE LA FIABILIDAD MEDIANTE EL MÉTODO MATEMÁTICO DE WEIBULL.

1. En el menu análisis Weibull dar clic en la opción “MÉTODO MATEMÁTICO”.



2. Se mostrara la siguiente ventana en la cual solo están activos los botones de “ingresar tiempos” y “cerrar” el resto de botones se activaran cuando se ingrese los tiempos de operación, se presione el botón “calcular” y seleccione una opción de grafica a mostrar.



3. Dar clic en el botón “INGRESAR TIEMPOS”.

The screenshot shows the software interface titled "ANÁLISIS DE FIABILIDAD MODELO MATEMÁTICO DE WEIBULL". It features several panels: "PARAMETROS DE WEIBULL" with input fields for MEDIA, DESVIACIÓN, ETA (n), VARIANZA, BETA (β), and GAMMA (γ), and a "CALCULAR" button; "INGRESO DE DATOS" with a highlighted "INGRESAR TIEMPOS" button; "CÁLCULO DE LA FIABILIDAD DE WEIBULL" with a table for data entry; "GRÁFICAS" with a dropdown menu and "GUARDAR IMAGEN" and "LIMPIAR GRÁFICA" buttons; and a "GRÁFICA" panel with a 1x1 grid plot. A "CERRAR" button is also visible.

| | to | Rt | Rt (%) | Ft | Ft (%) |
|---|----|----|--------|----|--------|
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |

4. Se mostrara la siguiente ventana para ingresar el número de datos a utilizar para el análisis.

This screenshot is similar to the previous one but includes a dialog box titled "Ingrese la cantidad de datos" with "OK" and "Cancel" buttons. The "INGRESAR TIEMPOS" button in the "INGRESO DE DATOS" panel is highlighted with a red box, indicating it is the active element.

- Luego de digitar el número total de datos, se debe ingresar los valores de tiempos de operación consecutivamente.

ANÁLISIS DE FIABILIDAD MODELO MATEMÁTICO DE WEIBULL

PARAMETROS DE WEIBULL

MEDIA DESVIACIÓN ETA (n)

VARIANZA BETA (β) GAMMA (γ)

CALCULAR

INGRESO DE DATOS

INGRESAR TIEMPOS

CÁLCULO DE LA FIABILIDAD DE WEIBULL

| | to | Rt | Rt (%) | Ft | Ft (%) |
|---|----|----|--------|----|--------|
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |

GRÁFICAS

Seleccione una opción

GUARDAR IMAGEN

LIMPIAR GRÁFICA

CERRAR

LIMPIAR **EXPORTAR**

GRÁFICA

Ingrese el 1° dato de tiempo:
120

OK **Cancel**

- Una vez ingresado los datos, dar click en el botón **CALCULAR**.

ANÁLISIS DE FIABILIDAD MODELO MATEMÁTICO DE WEIBULL

PARAMETROS DE WEIBULL

MEDIA DESVIACIÓN ETA (n)

VARIANZA BETA (β) GAMMA (γ)

CALCULAR

INGRESO DE DATOS

INGRESAR TIEMPOS

CÁLCULO DE LA FIABILIDAD DE WEIBULL

| | to | Rt | Rt (%) | Ft | Ft (%) |
|----|----------|----|--------|----|--------|
| 1 | 120 | | | | |
| 2 | 502.5000 | | | | |
| 3 | 619 | | | | |
| 4 | 572 | | | | |
| 5 | 382 | | | | |
| 6 | 569 | | | | |
| 7 | 645 | | | | |
| 8 | 261 | | | | |
| 9 | 574.5000 | | | | |
| 10 | 526.5000 | | | | |
| 11 | 502.5000 | | | | |
| 12 | 573 | | | | |
| 13 | 381 | | | | |

GRÁFICAS

Seleccione una opción

GUARDAR IMAGEN

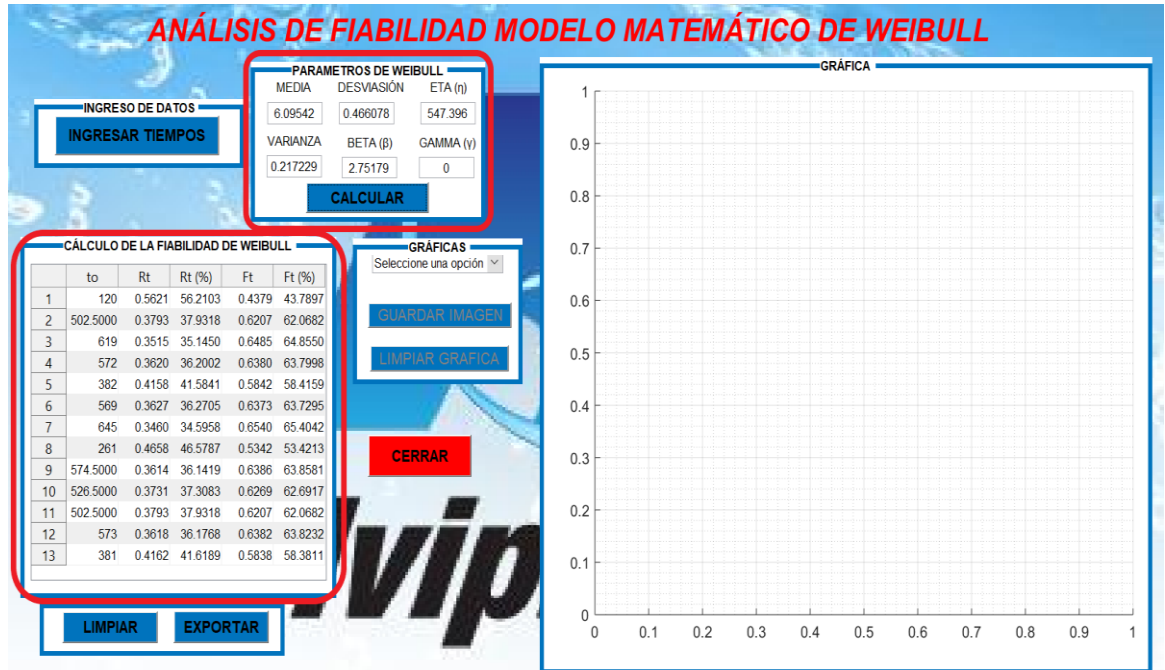
LIMPIAR GRÁFICA

CERRAR

LIMPIAR **EXPORTAR**

GRÁFICA

7. Luego de presionar **CALCULAR** se mostrara los parámetros y la tabla de Fiabilidad e Infiabilidad mediante Weibull.



Los valores de beta, eta, Fiabilidad R (t) e Infiabilidad F (t) se calculan automáticamente mediante las siguientes formulas:

| Parámetro β | Parámetro α | Fiabilidad |
|---------------------------------|---|---|
| $\beta = \frac{\pi}{S\sqrt{6}}$ | $\alpha = \exp\left(\bar{x} + \left(\frac{0.5772}{\beta}\right)\right)$ | $R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^{\frac{1}{\beta}}\right]$ |
| Infiabilidad | | |
| $F(t) = 1 - R(t)$ | | |

8. Dar clic en el botón “EXPORTAR”

ANÁLISIS DE FIABILIDAD MODELO MATEMÁTICO DE WEIBULL

INGRESO DE DATOS
INGRESAR TIEMPOS

PARAMETROS DE WEIBULL
 MEDIA: 6.09542 DESVIACIÓN: 0.486078 ETA (n): 547.396
 VARIANZA: 0.217229 BETA (β): 2.75179 GAMMA (γ): 0
CALCULAR

CÁLCULO DE LA FIABILIDAD DE WEIBULL

| | to | Rt | Rt (%) | Ft | Ft (%) |
|----|----------|--------|---------|--------|---------|
| 1 | 120 | 0.5621 | 56.2103 | 0.4379 | 43.7897 |
| 2 | 502.5000 | 0.3793 | 37.9318 | 0.6207 | 62.0682 |
| 3 | 619 | 0.3515 | 35.1450 | 0.6485 | 64.8500 |
| 4 | 572 | 0.3620 | 36.2002 | 0.6380 | 63.7998 |
| 5 | 382 | 0.4158 | 41.5841 | 0.5842 | 58.4159 |
| 6 | 569 | 0.3627 | 36.2705 | 0.6373 | 63.7295 |
| 7 | 645 | 0.3460 | 34.5958 | 0.6540 | 65.4042 |
| 8 | 261 | 0.4658 | 46.5787 | 0.5342 | 53.4213 |
| 9 | 574.5000 | 0.3614 | 36.1419 | 0.6386 | 63.8581 |
| 10 | 526.5000 | 0.3731 | 37.3083 | 0.6269 | 62.6917 |
| 11 | 502.5000 | 0.3793 | 37.9318 | 0.6207 | 62.0682 |
| 12 | 573 | 0.3618 | 36.1768 | 0.6382 | 63.8232 |
| 13 | 381 | 0.4162 | 41.6189 | 0.5838 | 58.3811 |

GRÁFICAS
 Seleccione una opción
GUARDAR IMAGEN
LIMPIAR GRÁFICA

CERRAR

LIMPIAR **EXPORTAR**

GRÁFICA

9. Seleccionar un nombre y la dirección para guardar los datos de la tabla de cálculo de fiabilidad en una hoja de Excel y luego clic en “guardar”.

← → ↑ << TESIS >> Fichas > weibull matlab > fiabilidad > 🔍 Buscar en fiabilidad

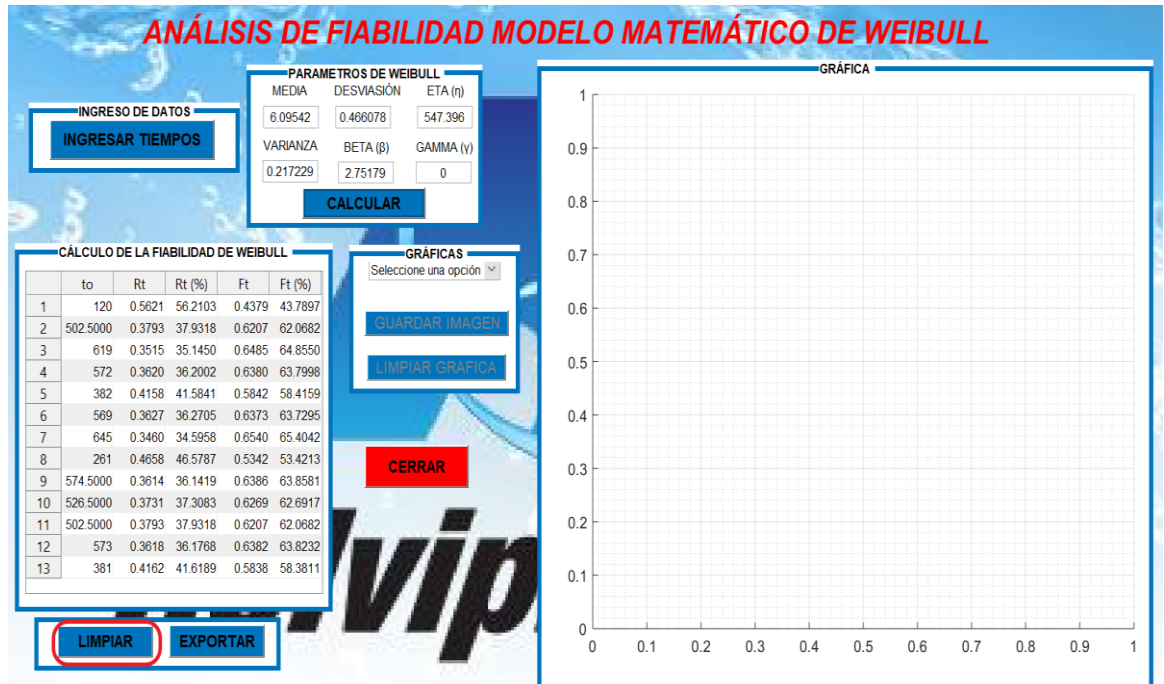
Organizar Nueva carpeta

| Nombre | Fecha de modificación | Tipo |
|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| fiabilidad matematico | 6/11/2019 16:24 | Hoja de cálculo de M.. |
| fiabilidad | 6/11/2019 0:45 | Hoja de cálculo de M.. |

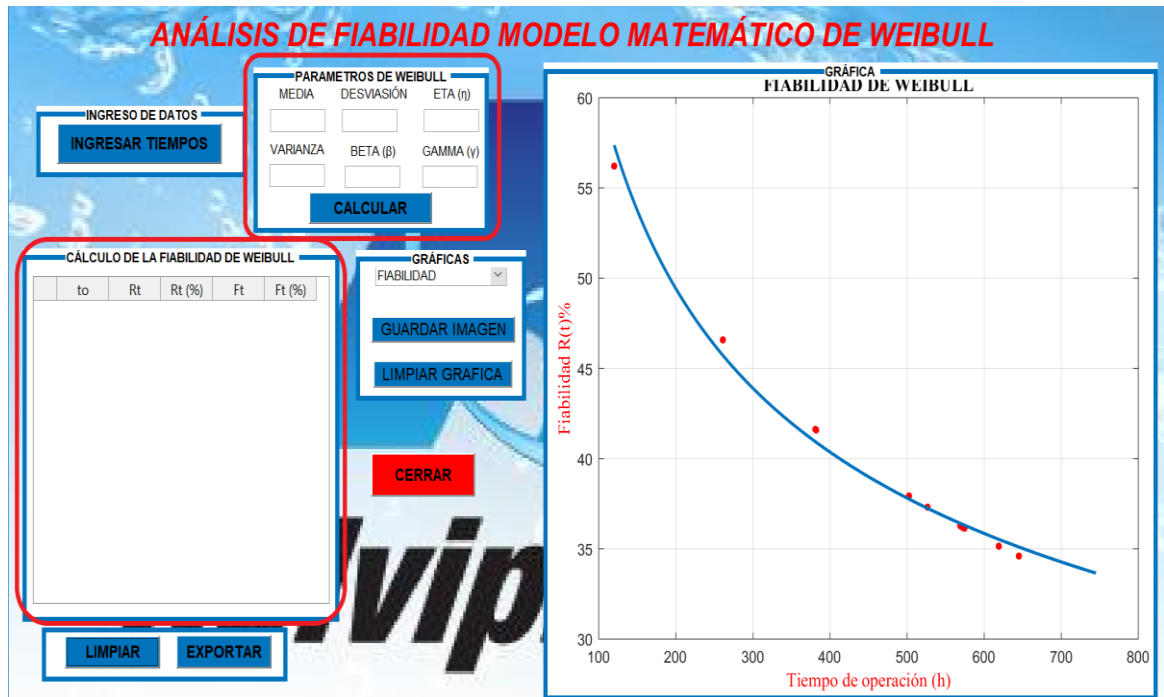
Nombre: Ejemplo
 Tipo: XLS (*.xls)

Guardar Cancelar

10. Dar clic en el botón “LIMPIAR”



11. Luego de dar clic en “Limpiar” aparecerá en blanco el área correspondiente a los parámetros y cálculo de la fiabilidad de Weibull.



12. Dar clic en el menú **GRÁFICAS**, el mostrara las opciones de gráficas de Fiabilidad e Infiabilidad

ANÁLISIS DE FIABILIDAD MODELO MATEMÁTICO DE WEIBULL

INGRESO DE DATOS
INGRESAR TIEMPOS

PARAMETROS DE WEIBULL

| | | |
|----------|------------|-----------|
| MEDIA | DESVIACIÓN | ETA (n) |
| 6.09542 | 0.466078 | 547.396 |
| VARIANZA | BETA (β) | GAMMA (γ) |
| 0.217229 | 2.75179 | 0 |

CALCULAR

CÁLCULO DE LA FIABILIDAD DE WEIBULL

| | to | Rt | Rt (%) | Ft | Ft (%) |
|----|----------|--------|---------|--------|---------|
| 1 | 120 | 0.5621 | 56.2103 | 0.4379 | 43.7897 |
| 2 | 502.5000 | 0.3793 | 37.9318 | 0.6207 | 62.0682 |
| 3 | 619 | 0.3515 | 35.1450 | 0.6485 | 64.8550 |
| 4 | 572 | 0.3620 | 36.2002 | 0.6380 | 63.7998 |
| 5 | 382 | 0.4158 | 41.5841 | 0.5842 | 58.4159 |
| 6 | 569 | 0.3627 | 36.2705 | 0.6373 | 63.7295 |
| 7 | 645 | 0.3460 | 34.5958 | 0.6540 | 65.4042 |
| 8 | 261 | 0.4658 | 46.5787 | 0.5342 | 53.4213 |
| 9 | 574.5000 | 0.3614 | 36.1419 | 0.6386 | 63.8581 |
| 10 | 526.5000 | 0.3731 | 37.3083 | 0.6269 | 62.6917 |
| 11 | 502.5000 | 0.3793 | 37.9318 | 0.6207 | 62.0682 |
| 12 | 573 | 0.3618 | 36.1768 | 0.6382 | 63.8232 |
| 13 | 381 | 0.4162 | 41.6189 | 0.5838 | 58.3811 |

GRÁFICAS
Seleccione una opción
FIABILIDAD
INFIABILIDAD
LIMPIAR GRÁFICA

CERRAR

LIMPIAR EXPORTAR

GRÁFICA

13. Clic en **Fiabilidad**

ANÁLISIS DE FIABILIDAD MODELO MATEMÁTICO DE WEIBULL

INGRESO DE DATOS
INGRESAR TIEMPOS

PARAMETROS DE WEIBULL

| | | |
|----------|------------|-----------|
| MEDIA | DESVIACIÓN | ETA (n) |
| 6.09542 | 0.466078 | 547.396 |
| VARIANZA | BETA (β) | GAMMA (γ) |
| 0.217229 | 2.75179 | 0 |

CALCULAR

CÁLCULO DE LA FIABILIDAD DE WEIBULL

| | to | Rt | Rt (%) | Ft | Ft (%) |
|----|----------|--------|---------|--------|---------|
| 1 | 120 | 0.5621 | 56.2103 | 0.4379 | 43.7897 |
| 2 | 502.5000 | 0.3793 | 37.9318 | 0.6207 | 62.0682 |
| 3 | 619 | 0.3515 | 35.1450 | 0.6485 | 64.8550 |
| 4 | 572 | 0.3620 | 36.2002 | 0.6380 | 63.7998 |
| 5 | 382 | 0.4158 | 41.5841 | 0.5842 | 58.4159 |
| 6 | 569 | 0.3627 | 36.2705 | 0.6373 | 63.7295 |
| 7 | 645 | 0.3460 | 34.5958 | 0.6540 | 65.4042 |
| 8 | 261 | 0.4658 | 46.5787 | 0.5342 | 53.4213 |
| 9 | 574.5000 | 0.3614 | 36.1419 | 0.6386 | 63.8581 |
| 10 | 526.5000 | 0.3731 | 37.3083 | 0.6269 | 62.6917 |
| 11 | 502.5000 | 0.3793 | 37.9318 | 0.6207 | 62.0682 |
| 12 | 573 | 0.3618 | 36.1768 | 0.6382 | 63.8232 |
| 13 | 381 | 0.4162 | 41.6189 | 0.5838 | 58.3811 |

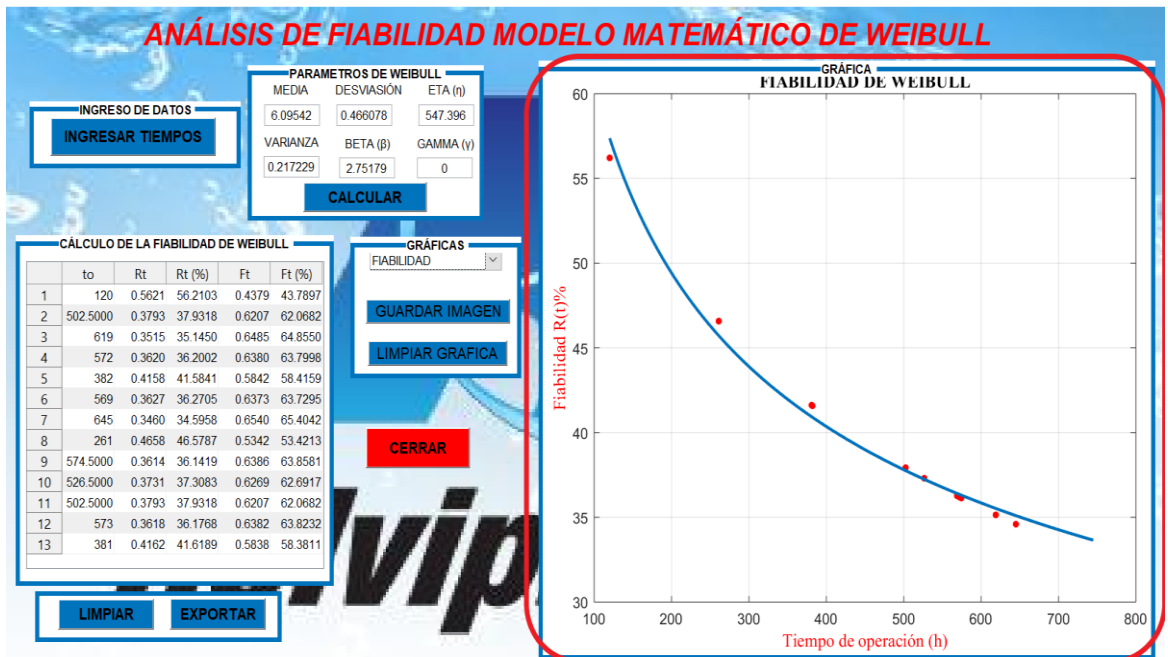
GRÁFICAS
Seleccione una opción
FIABILIDAD
INFIABILIDAD
LIMPIAR GRÁFICA

CERRAR

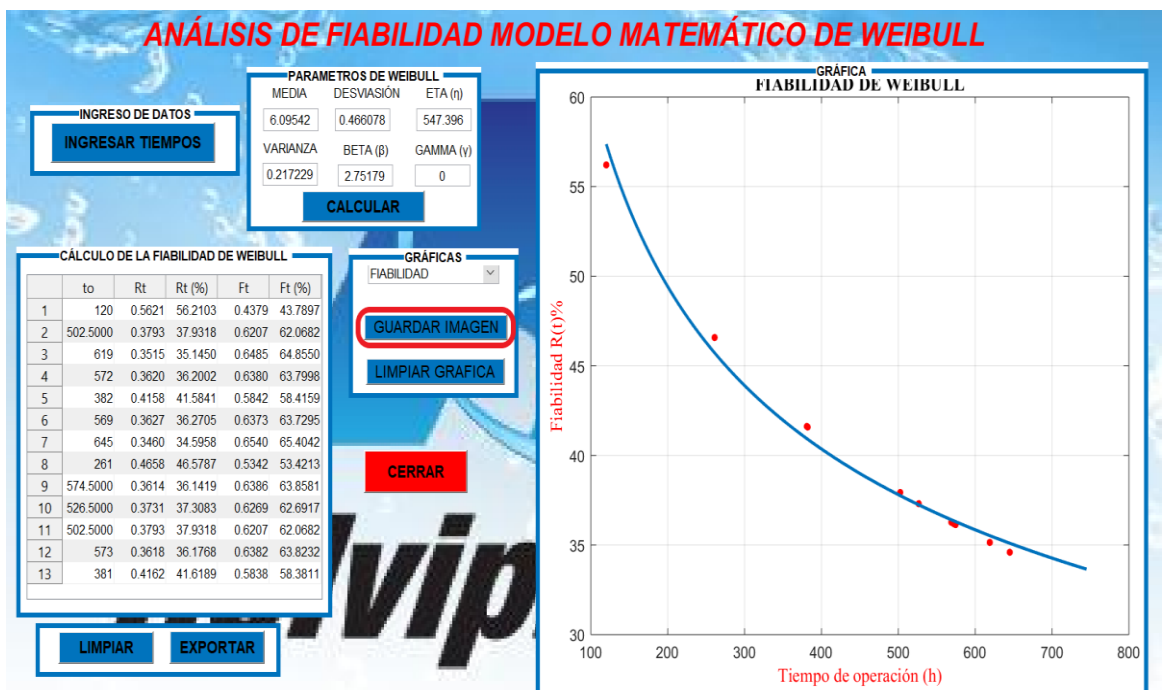
LIMPIAR EXPORTAR

GRÁFICA

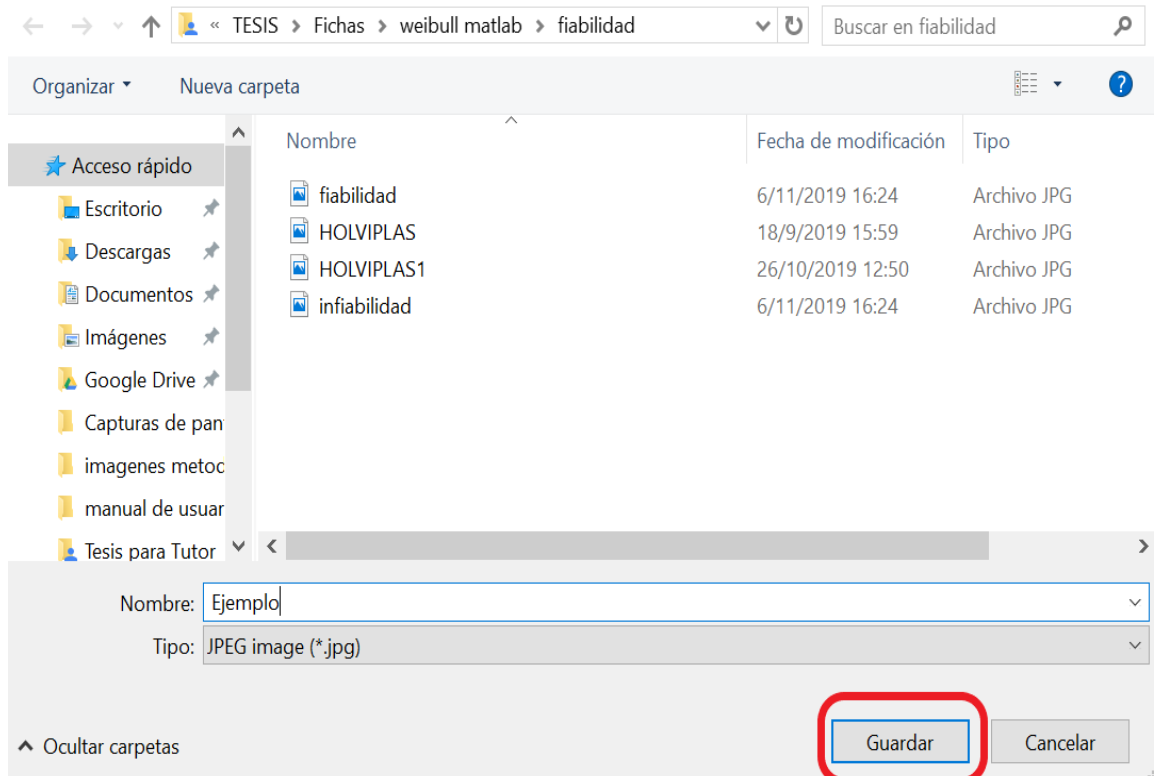
14. Se mostrara la gráfica de la fiabilidad la cual nos ayudara a determinar en qué etapa de la curva de la bañera se encuentra la máquina.



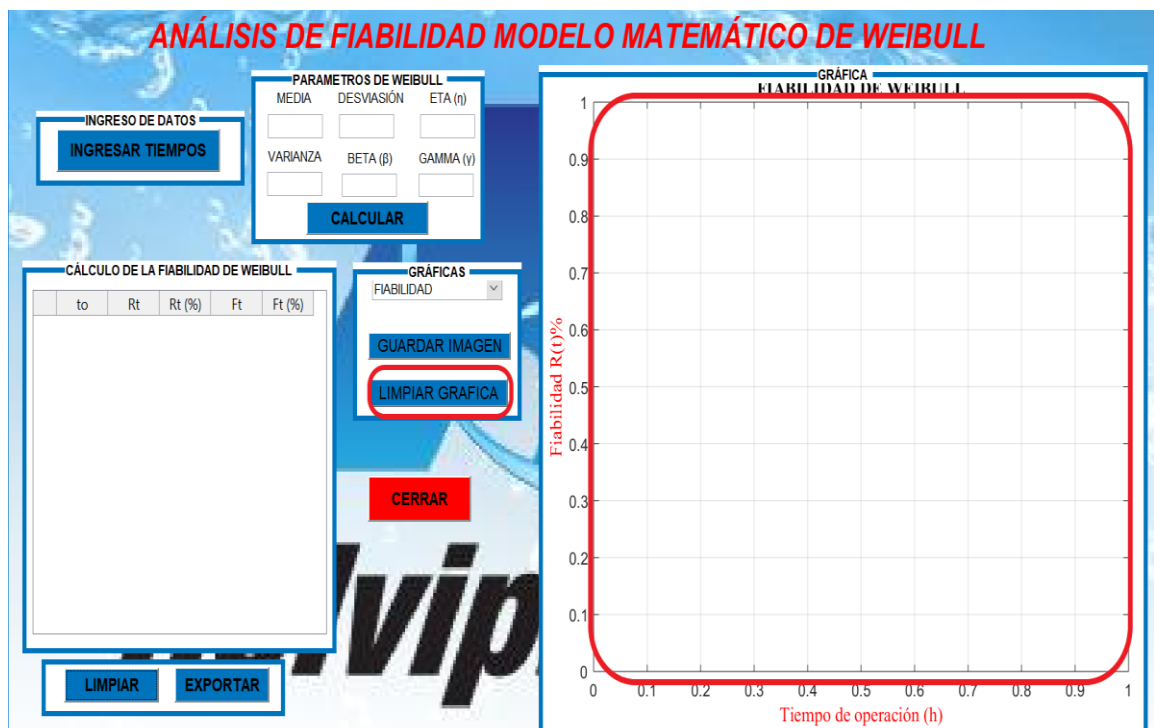
15. Dar clic en el botón “GUARDAR IMAGEN”



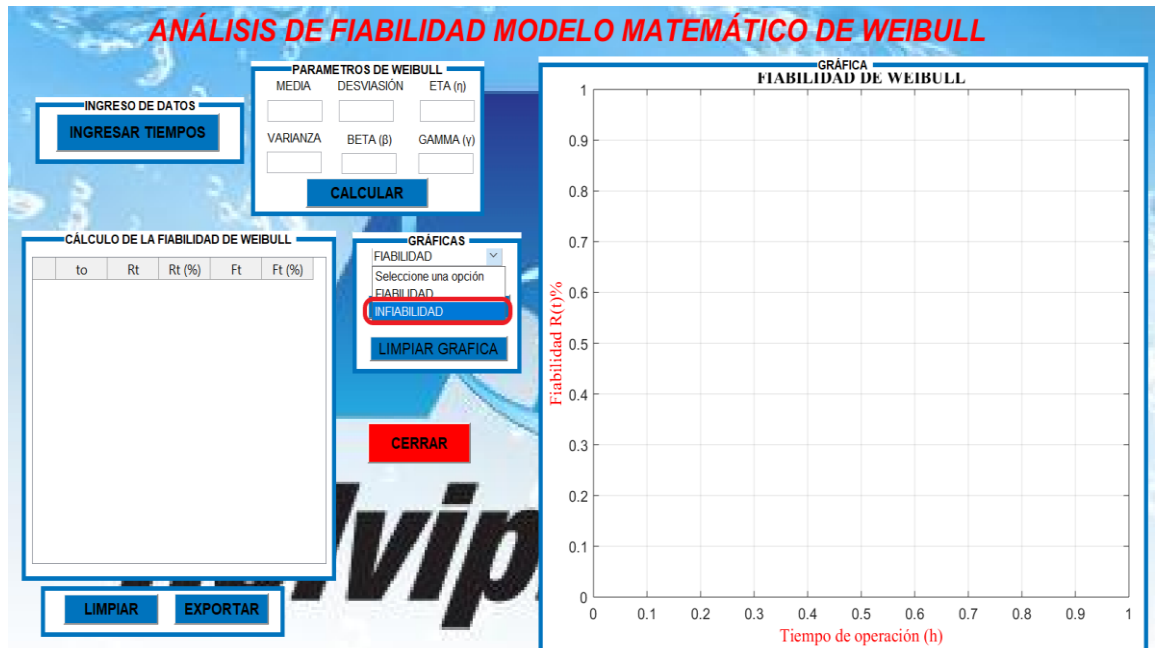
16. Seleccionar un nombre, el formato y la dirección en donde se guardará la imagen y luego dar clic en “guardar”



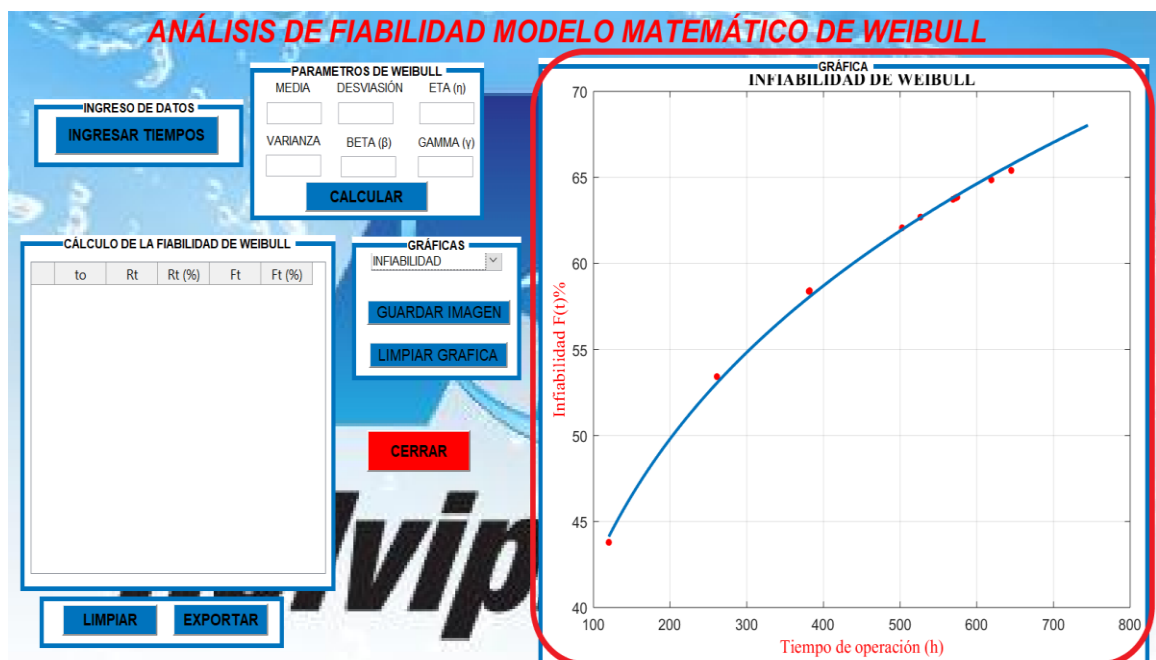
17. Dar clic en “LIMPIAR IMAGEN” para vaciar el área donde se muestran las gráficas de Fiabilidad e Infiabilidad.



18. Dar clic en **Infiabilidad**

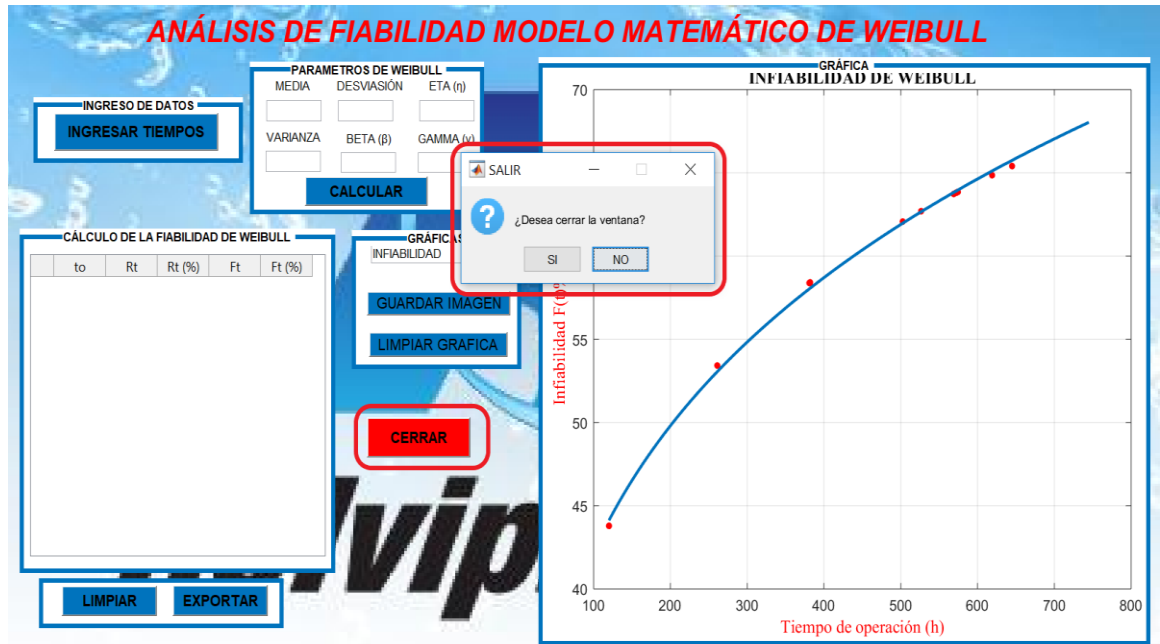


19. Se mostrara la gráfica de la Infiabilidad.



20. Para guardar la gráfica de Infiabilidad repetir el paso 15 y 16, para limpiar el paso 17.

21. Al dar clic en el botón “CERRAR” se mostrara un aviso de confirmación si desea cerrar la ventana, si presionamos si retornara a la pantalla principal.

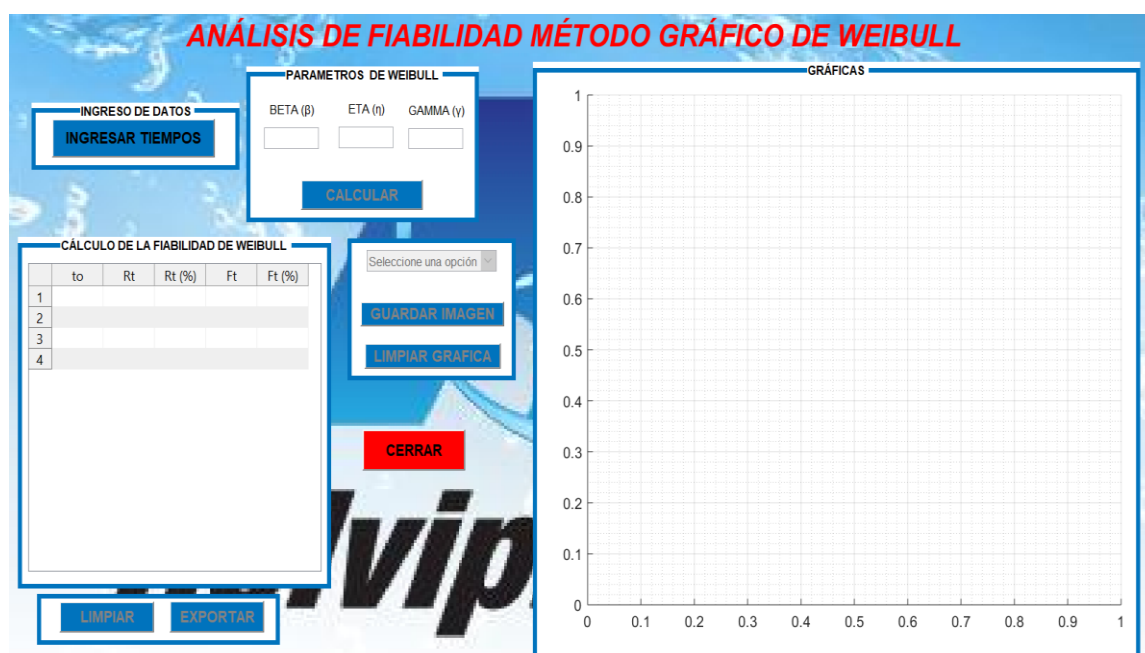


MANUAL DE USUARIO PARA EL ANÁLISIS DE LA FIABILIDAD MEDIANTE EL MÉTODO GRÁFICO DE WEIBULL.

1. En el menu análisis Weibull dar clic en la opción **MÉTODO GRÁFICO**.



2. Se mostrara la siguiente ventana



3. Repetir el paso 3, 4 y 5 efectuados en método matemático.
4. Una vez ingresado los datos, dar click en el botón **CALCULAR**.

ANÁLISIS DE FIABILIDAD MÉTODO GRÁFICO DE WEIBULL

INGRESO DE DATOS

INGRESAR TIEMPOS

PARAMETROS DE WEIBULL

BETA (β) ETA (η) GAMMA (γ)

CALCULAR

GRÁFICAS

CÁLCULO DE LA FIABILIDAD DE WEIBULL

| | to | Rt | Rt (%) | Ft | Ft (%) |
|----|----------|----|--------|----|--------|
| 1 | 120 | | | | |
| 2 | 261 | | | | |
| 3 | 381 | | | | |
| 4 | 382 | | | | |
| 5 | 502.5000 | | | | |
| 6 | 502.5000 | | | | |
| 7 | 526.5000 | | | | |
| 8 | 569 | | | | |
| 9 | 572 | | | | |
| 10 | 573 | | | | |
| 11 | 574.5000 | | | | |
| 12 | 619 | | | | |
| 13 | 645 | | | | |

Seleccione una opción

GUARDAR IMAGEN

LIMPIAR GRÁFICA

CERRAR

LIMPIAR **EXPORTAR**

5. Luego de presionar **CALCULAR** se mostrara los parámetros y la tabla de Fiabilidad e Infiabilidad mediante Weibull.

ANÁLISIS DE FIABILIDAD MÉTODO GRÁFICO DE WEIBULL

INGRESO DE DATOS

INGRESAR TIEMPOS

PARAMETROS DE WEIBULL

BETA (β) ETA (η) GAMMA (γ)

2.24346 562.668 0

CALCULAR

GRÁFICAS

CÁLCULO DE LA FIABILIDAD DE WEIBULL

| | to | Rt | Rt (%) | Ft | Ft (%) |
|----|----------|--------|---------|--------|---------|
| 1 | 120 | 0.9693 | 96.9259 | 0.0307 | 3.0741 |
| 2 | 261 | 0.8366 | 83.6552 | 0.1634 | 16.3448 |
| 3 | 381 | 0.6590 | 65.9030 | 0.3410 | 34.0970 |
| 4 | 382 | 0.6574 | 65.7411 | 0.3426 | 34.2589 |
| 5 | 502.5000 | 0.4603 | 46.0286 | 0.5397 | 53.9714 |
| 6 | 502.5000 | 0.4603 | 46.0286 | 0.5397 | 53.9714 |
| 7 | 526.5000 | 0.4225 | 42.2518 | 0.5775 | 57.7482 |
| 8 | 569 | 0.3586 | 35.8645 | 0.6414 | 64.1355 |
| 9 | 572 | 0.3543 | 35.4307 | 0.6457 | 64.5693 |
| 10 | 573 | 0.3529 | 35.2866 | 0.6471 | 64.7134 |
| 11 | 574.5000 | 0.3507 | 35.0711 | 0.6493 | 64.9289 |
| 12 | 619 | 0.2898 | 28.9761 | 0.7102 | 71.0239 |
| 13 | 645 | 0.2571 | 25.7051 | 0.7429 | 74.2949 |

Seleccione una opción

GUARDAR IMAGEN

LIMPIAR GRÁFICA

CERRAR

LIMPIAR **EXPORTAR**

Los valores de beta, eta, Fiabilidad R (t) e Infiabilidad F (t) se calculan automáticamente mediante las siguientes fórmulas de acuerdo al método de mínimos cuadrados:

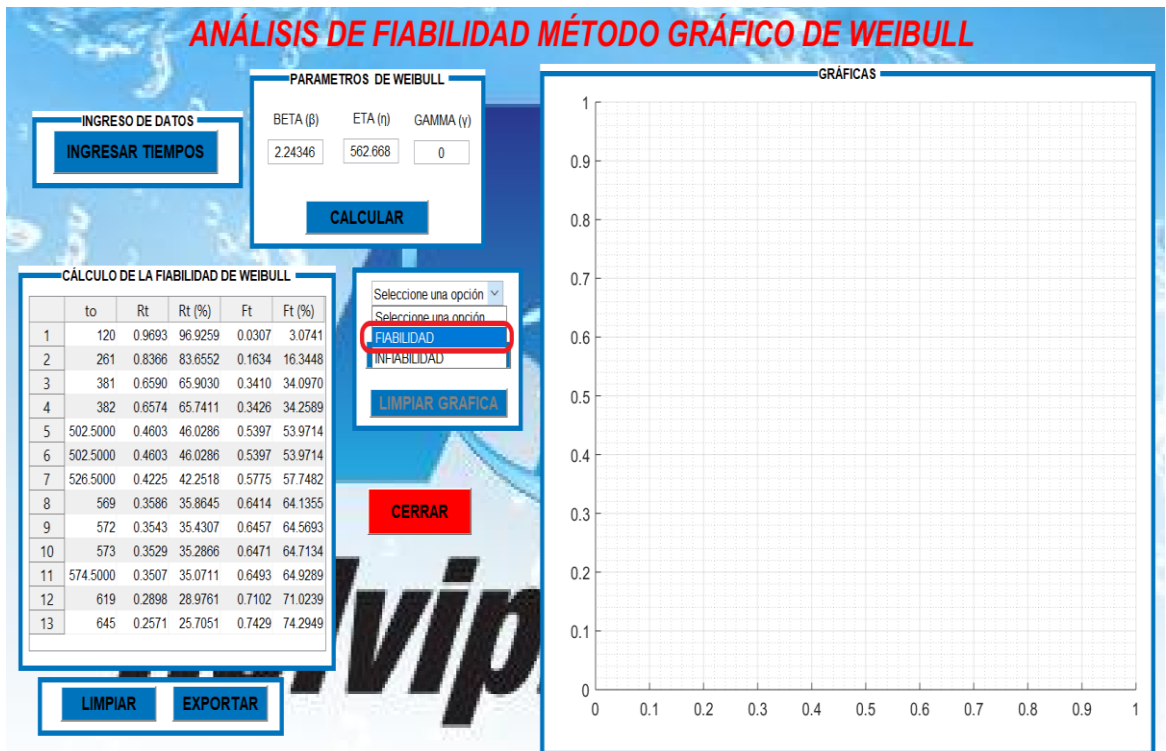
$$\ln \left[\ln \left(\frac{1}{1-F(t)} \right) \right] = \beta \ln(t) - \beta \ln(\eta) \quad y = \beta x - b$$

$$y = \ln \left[\ln \left(\frac{1}{1-F(t)} \right) \right]; \quad x = \ln(t); \quad b = \beta \ln(\eta)$$

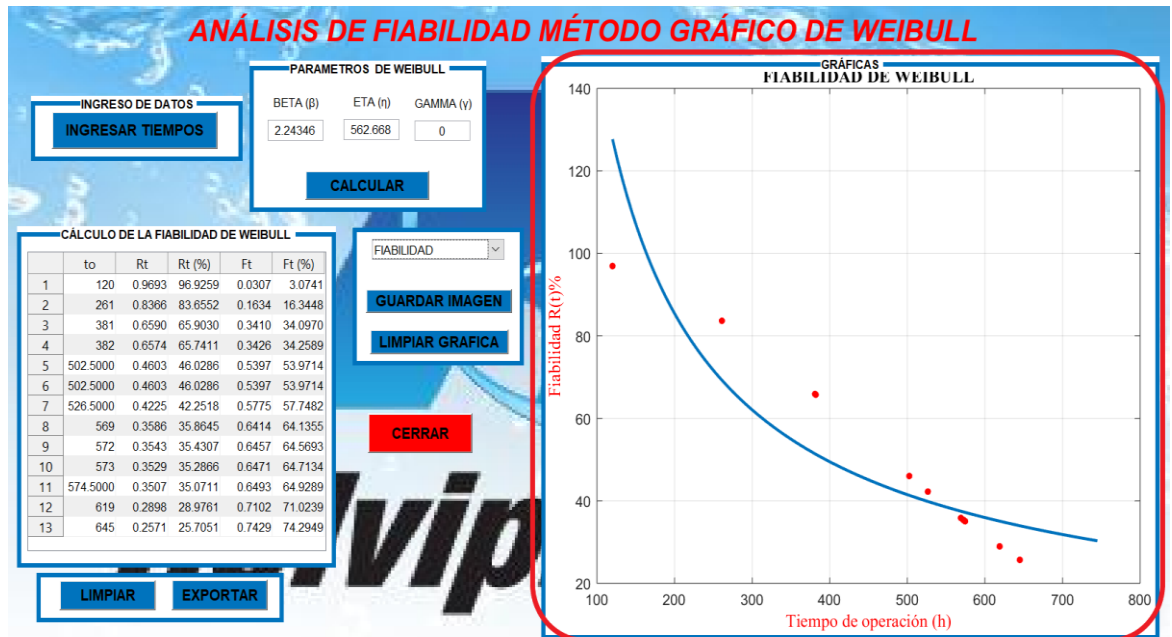
| | |
|---|------------------------------------|
| Parámetro β | Parámetro η |
| $a = \beta$ | $\eta = e^{-\frac{b}{\beta}}$ |
| Fiabilidad | Infiabilidad |
| $R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t-\gamma}{\alpha} \right)^\beta \right]$ | $F(t) = 1 - R(t)$ |

6. Repetir el paso 8 al 12 descritos en el método matemático.

7. Luego dar Clic en **Fiabilidad**

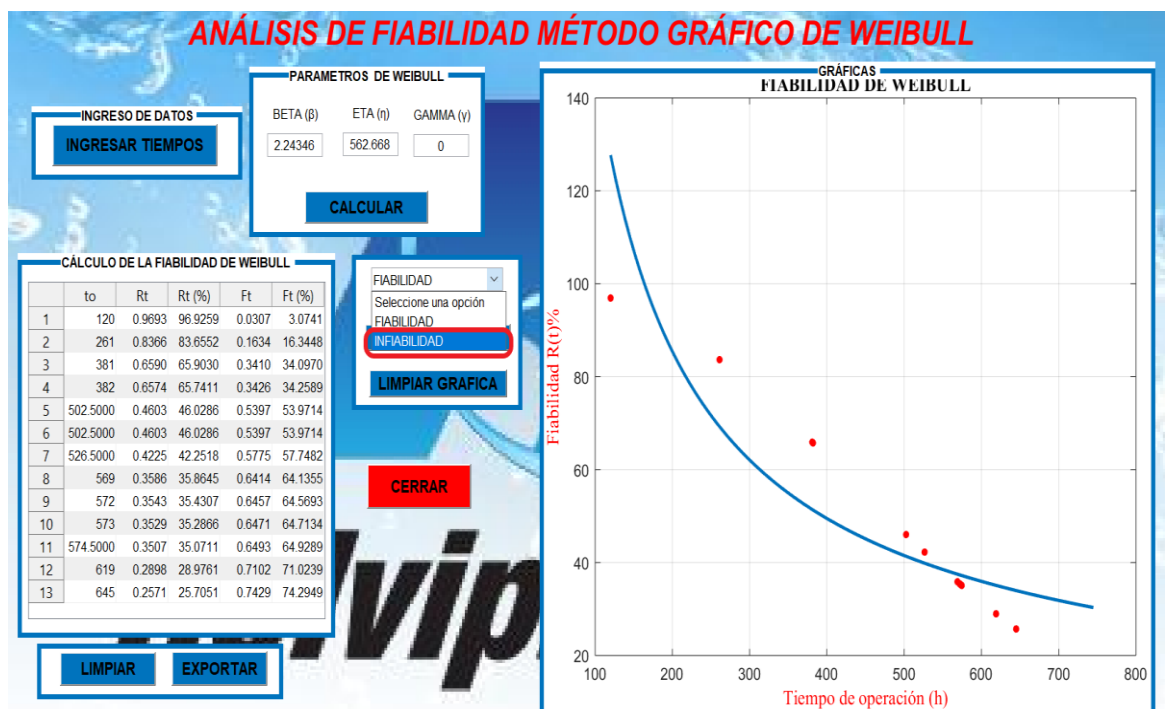


8. Se mostrara la gráfica de la fiabilidad la cual nos ayudara a determinar en qué etapa de la curva de la bañera se encuentra la máquina.

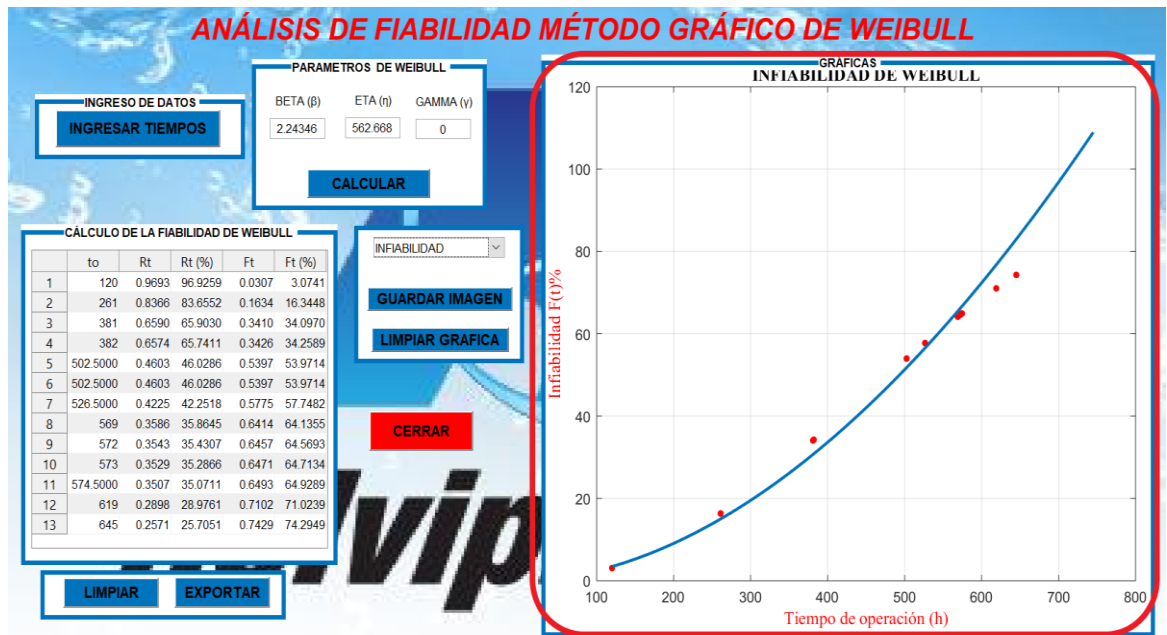


9. Para guardar la gráfica de fiabilidad repetir el paso 15 y 16, para limpiar el paso 17 descritos en el método matemático.

10. Dar clic en **Infiabilidad**



11. Se mostrara la gráfica de la Infiabilidad.



12. Para guardar la gráfica de Infiabilidad repetir el paso 15 y 16, para limpiar el paso 17.

13. Para cerrar la ventana del método grafico de Weibull repetir el paso 21 descrito en el método matemático

14. Dar clic en el botón “SALIR” para cerrar el programa de Fiabilidad_Weibull



Anexo 2. Código de Programación

CÓDIGO PARA VENTANA PRINCIPAL

```
function varargout = Fiabilidad_Weibull(varargin)
% FIABILIDAD_WEIBULL MATLAB code for Fiabilidad_Weibull.fig
%     FIABILIDAD_WEIBULL, by itself, creates a new
%     FIABILIDAD_WEIBULL or raises the existing
%     singleton*.
%
%     H = FIABILIDAD_WEIBULL returns the handle to a new
%     FIABILIDAD_WEIBULL or the handle to
%     the existing singleton*.
%
%
%     FIABILIDAD_WEIBULL('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...)
%     calls the local
%     function named CALLBACK in FIABILIDAD_WEIBULL.M with
%     the given input arguments.
%
%     FIABILIDAD_WEIBULL('Property','Value',...) creates a
%     new FIABILIDAD_WEIBULL or raises the
%     existing singleton*. Starting from the left, property
%     value pairs are
%     applied to the GUI before Fiabilidad_Weibull_OpeningFcn
%     gets called. An
%     unrecognized property name or invalid value makes
%     property application
%     stop. All inputs are passed to
%     Fiabilidad_Weibull_OpeningFcn via varargin.
%
%     *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI
%     allows only one
%     instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help
% Fiabilidad_Weibull

% Last Modified by GUIDE v2.5 06-Nov-2019 16:00:12

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @Fiabilidad_Weibull_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @Fiabilidad_Weibull_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [], ...
                  'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end
```

```

if nargin
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State,
varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before Fiabilidad_Weibull is made visible.
function Fiabilidad_Weibull_OpeningFcn(hObject, eventdata,
handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)
% varargin   command line arguments to Fiabilidad_Weibull (see
VARARGIN)
axes('Units','Normalized',...
'Position',[0 0 1 1]);'Number';'off';
[x,map]=imread('HOLVIPLAS1.jpg','jpg');
%Representamos imagen en figura, con su mapa de colores
image(x),colormap(map),axis off,hold on;

% Choose default command line output for Fiabilidad_Weibull
handles.output = hObject;
% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes Fiabilidad_Weibull wait for user response (see
UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command
line.
function varargout = Fiabilidad_Weibull_OutputFcn(hObject,
eventdata, handles)
varargout{1} = handles.output;

% -----
function Untitled_1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% -----
function matematico_Callback(hObject, eventdata, handles)

WeibullMatematico;

% -----
function salir_Callback(hObject, eventdata, handles)
close

% -----
function grafico_Callback(hObject, eventdata, handles)
WeibullGrafico

```

CÓDIGO PARA MÉTODO MATEMÁTICO

```
function varargout = WeibullMatematico(varargin)
% WEIBULLMATEMATICO MATLAB code for WeibullMatematico.fig
% WEIBULLMATEMATICO, by itself, creates a new
WEIBULLMATEMATICO or raises the existing
% singleton*.
%
% H = WEIBULLMATEMATICO returns the handle to a new
WEIBULLMATEMATICO or the handle to
% the existing singleton*.
%
% WEIBULLMATEMATICO('CALLBACK', hObject,eventData,handles,...)
calls the local
% function named CALLBACK in WEIBULLMATEMATICO.M with the
given input arguments.
%
% WEIBULLMATEMATICO('Property','Value',...) creates a new
WEIBULLMATEMATICO or raises the
% existing singleton*. Starting from the left, property
value pairs are
% applied to the GUI before WeibullMatematico_OpeningFcn
gets called. An
% unrecognized property name or invalid value makes
property application
% stop. All inputs are passed to
WeibullMatematico_OpeningFcn via varargin.
%
% *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI
allows only one
% instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help
WeibullMatematico

% Last Modified by GUIDE v2.5 06-Nov-2019 16:03:59

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @WeibullMatematico_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @WeibullMatematico_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [], ...
                  'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
```

```

        [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State,
varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before WeibullMatematico is made visible.
function WeibullMatematico_OpeningFcn(hObject, eventdata,
handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)
% varargin   command line arguments to WeibullMatematico (see
VARARGIN)
% Insertar imagen de fondo
axes('Units','Normalized',...
'Position',[0 0 1 1]);'Number';'off';
[x,map]=imread('HOLVIPLAS.jpg','jpg');
%Representamos imagen en figura, con su mapa de colores
image(x, colormap(map), axis off, hold on
%Títulos sobre imagen
text(50,10,'ANÁLISIS DE FIABILIDAD MODELO MATEMÁTICO DE
WEIBULL ',...
'Fontname','Arial','FontSize',20,'Fontangle','Italic',....
'Fontweight','Bold','color',[1 0 0]);

% Choose default command line output for WeibullMatematico
handles.output = hObject;
%-----
% Configuramos 'CloseRequestFcn'
set(hObject,'CloseRequestFcn',@close_fcn);
%-----
--
%Deshabilitar botones
set(handles.calcular,'Enable','off');
set(handles.graficas,'Enable','off');
set(handles.guardarimagen,'Enable','off');
set(handles.limpiargrafica,'Enable','off');
set(handles.limpiar,'Enable','off');
set(handles.exportar,'Enable','off');
% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes WeibullMatematico wait for user response (see
UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command
line.

```

```

function varargout = WeibullMatematico_OutputFcn(hObject,
eventdata, handles)
% varargout cell array for returning output args (see
VARARGOUT);
% hObject handle to figure
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes on button press in limpiar.
function limpiar_Callback(hObject, eventdata, handles)
set(handles.uitable1, 'Data', {})
%limpiar textboxes
set(handles.edit1, 'string', '');
set(handles.edit2, 'string', '');
set(handles.edit3, 'string', '');
set(handles.edit4, 'string', '');
set(handles.edit5, 'string', '');
set(handles.edit6, 'string', '');

% --- Executes on button press in exportar.
function exportar_Callback(hObject, eventdata, handles)
Nmatriz=handles.Z;
guidata(hObject, handles)
try
formatos = {'*.xls', 'XLS (*.xls)'; '*.xlsx', 'XLSX (*.xlsx)'};
[nomb,ruta] = uiputfile(formatos, 'GUARDAR Distribución de
Frecuencia');

if or(and(isempty(nomb), isempty(ruta)), nomb==0)
    msgbox('No indico un nombre para guardar archivo',
'Aviso', 'warn');
else
Nmatriz=handles.Z;
xlswrite([ruta nomb], Nmatriz)

end
catch
end

% --- Executes on selection change in graficas.
function graficas_Callback(hObject, eventdata, handles)
set(handles.guardarimagen, 'Enable', 'on');
set(handles.limpiargrafica, 'Enable', 'on');

opcion=get(handles.graficas, 'value');
To=handles.T;
Rt=handles.rt;
Ft=handles.ft;

```

```

xx=handles.xs;
yy=handles.ys;
xx1=handles.xs1;
yy1=handles.ys1;

switch opcion
    case 1
        %%Selecione una opcion

    case 2
        axes(handles.grafica);
        %GRAFICA FIABILIDAD
        plot(To,Rt,'ro','markersize',4,'markerfacecolor','r')
        hold on
        grid on
        plot(xx,yy,'LineWidth',2)
        hold on
        title('FIABILIDAD DE WEIBULL','FontName','Times New
        Roman','FontSize',12,'color','k')
        xlabel('Tiempo de operación (h)','FontName','Times New
        Roman','FontSize',12,'color','r')
        ylabel('Fiabilidad R(t)%','FontName','Times New
        Roman','FontSize',12,'color','r')
        grid on
        hold off

    case 3
        axes(handles.grafica);
        %GRAFICA INFIABILIDAD
        plot(To,Ft,'ro','markersize',4,'markerfacecolor','r')
        hold on
        plot(xx1,yy1,'LineWidth',2)
        hold on
        title('INFIABILIDAD DE WEIBULL','FontName','Times New
        Roman','FontSize',12,'color','k')
        xlabel('Tiempo de operación (h)','FontName','Times New
        Roman','FontSize',12,'color','r')
        ylabel('Infiabilidad F(t)%','FontName','Times New
        Roman','FontSize',12,'color','r')
        grid on
        hold off
end

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function graficas_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to graficas (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: popupmenu controls usually have a white background on
Windows.

```

```

%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in guardarimagen.
function guardarimagen_Callback(hObject, eventdata, handles)
figura=figure(2);
colormap('bone')
set(figura,'InvertHardcopy','off','Color','white');
objeto_2 = copyobj(handles.grafica,figura);
set(objeto_2,'Units','normalized','Position',[0.12 0.12 .8
.8])

% --- Executes on button press in limpiargrafica.
function limpiargrafica_Callback(hObject, eventdata, handles)
% limpiar grafica
cla;

function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit2_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all
CreateFcns called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function edit3_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit4_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit4 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit5_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit5_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit5 (see GCBO)

```



```

% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit6_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit6_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit6 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in calcular.
function calcular_Callback(hObject, eventdata, handles)

% Activar botones
set(handles.graficas,'Enable','on');
set(handles.limpiar,'Enable','on');
set(handles.exportar,'Enable','on');

% Calculos
T=handles.x;
a=handles.n;
for i=1:a
    nn=length(T);
    A=log(T);
    m=sum(A);
    Media=m/nn;
    R=(A-Media).^2;
    o=sum(R);
    Varianza=o/(nn-1);
    Desviacion=sqrt(Varianza);

```

```

Beta=pi/(Desviacion*sqrt(6));
Alfa=exp(Media+(0.5772/Beta));
Gamma=0;
R=exp(-(((T-Gamma)/Alfa).^(1/Beta)));
rt=R*100;
F=(1-R);
ft=F*100;

% AJUSTE DE CURVA FIABILIDAD
c = polyfit(log(T),log(rt),1);
xs = linspace(min(T),max(T)+100);
ys = exp(c(2)) * xs.^(c(1));

% AJUSTE DE CURVA INFIABILIDAD
c1 = polyfit(log(T),log(ft),1);
xs1 = linspace(min(T),max(T)+100);
ys1 = exp(c1(2)) * xs.^(c1(1));
end
%-----
set(handles.edit1,'String',Media);
set(handles.edit2,'String',Varianza);
set(handles.edit3,'String',Desviacion);
set(handles.edit4,'String',Beta);
set(handles.edit5,'String',Alfa);
set(handles.edit6,'String',Gamma);
%-----
Z=[T' R' rt' F' ft'];
set(handles.uitable1,'Data',Z);
%-----
%Variables para graficar
handles.T=T;
guidata(hObject, handles)
handles.rt=rt;
guidata(hObject, handles)
handles.ft=ft;
guidata(hObject, handles)
handles.xs=xs;
guidata(hObject, handles)
handles.ys=ys;
guidata(hObject, handles)
handles.xs1=xs1;
guidata(hObject, handles)
handles.ys1=ys1;
guidata(hObject, handles)
handles.Z=Z;
guidata(hObject, handles)

% --- Executes on button press in ingresardatos.
function ingresardatos_Callback(hObject, eventdata, handles)
set(handles.calcular,'Enable','on');
n=str2double(inputdlg('Ingrese la cantidad de datos'));
for i=1:n
    etiqueta=['Ingrese el ',num2str(i),'º dato de tiempo:'];

```

```

    x(i)=str2double(inputdlg(etiqueta));
end
xbarra=mean(x);
datos=[x'];
set(handles.uitable1,'Data',datos);
handles.x=x;
guidata(hObject, handles)
handles.n=n;
guidata(hObject, handles)

% --- Executes on button press in cerrar.
function cerrar_Callback(hObject, eventdata, handles)
opc=questdlg('¿Desea cerrar la
ventana?', 'SALIR', 'SI', 'NO', 'NO');
if strcmp(opc, 'NO')
    return
end

close_fcn(hObject);

function close_fcn(hObject,eventdata,handles)
if strcmp(get(hObject,'type'),'uicontrol')
    delete(gcf);
end

```

CÓDIGO PARA MÉTODO GRÁFICO

```
function varargout = WeibullGrafico(varargin)
% WEIBULLGRAFICO MATLAB code for WeibullGrafico.fig
% WEIBULLGRAFICO, by itself, creates a new WEIBULLGRAFICO or
raises the existing
% singleton*.
%
% H = WEIBULLGRAFICO returns the handle to a new WEIBULLGRAFICO
or the handle to
% the existing singleton*.
%
% WEIBULLGRAFICO('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...)
calls the local
% function named CALLBACK in WEIBULLGRAFICO.M with the given
input arguments.
%
% WEIBULLGRAFICO('Property','Value',...) creates a new
WEIBULLGRAFICO or raises the
% existing singleton*. Starting from the left, property value
pairs are
% applied to the GUI before WeibullGrafico_OpeningFcn gets
called. An
% unrecognized property name or invalid value makes property
application
% stop. All inputs are passed to WeibullGrafico_OpeningFcn via
varargin.
%
% *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows
only one
% instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help WeibullGrafico

% Last Modified by GUIDE v2.5 06-Nov-2019 16:03:14

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name', mfilename, ...
                  'gui_Singleton', gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @WeibullGrafico_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn', @WeibullGrafico_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn', [] , ...
                  'gui_Callback', []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before WeibullGrafico is made visible.
```

```

function WeibullGrafico_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles,
varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to WeibullGrafico (see VARARGIN)
% Insertar imagen de fondo
axes('Units','Normalized',...
'Position',[0 0 1 1]);'Number';'off';
[x,map]=imread('HOLVIPLAS.jpg','jpg');
%Representamos imagen en figura, con su mapa de colores
image(x),colormap(map),axis off,hold on
%Títulos sobre imagen
text(65,10,'ANÁLISIS DE FIABILIDAD MÉTODO GRÁFICO DE WEIBULL ',...
'Fontname','Arial','FontSize',20,'Fontangle','Italic',....
'Fontweight','Bold','color',[1 0 0]);

% Choose default command line output for WeibullGrafico
handles.output = hObject;
%-----
% Configuramos 'CloseRequestFcn'
set(hObject,'CloseRequestFcn',@close_fcn);
%-----
-
%Deshabilitar botones
set(handles.calcular,'Enable','off');
set(handles.graficas,'Enable','off');
set(handles.guardarimagen,'Enable','off');
set(handles.limpiargrafica,'Enable','off');
set(handles.limpiar,'Enable','off');
set(handles.exportar,'Enable','off');
% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes WeibullGrafico wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = WeibullGrafico_OutputFcn(hObject, eventdata,
handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes on button press in limpiar.
function limpiar_Callback(hObject, eventdata, handles)
set(handles.uitable1,'Data',{})

%limpiar textboxes
set(handles.edit1,'string','');
set(handles.edit2,'string','');
set(handles.edit3,'string','');

```

```

set(handles.edit4,'string','');
set(handles.edit5,'string','');
set(handles.edit6,'string','');

% --- Executes on button press in exportar.
function exportar_Callback(hObject, eventdata, handles)
Nmatriz=handles.Z;
guidata(hObject, handles)
try
formatos = {'*.xls','XLS (*.xls)'; '*.xlsx','XLSX (*.xlsx)'};
[nomb,ruta] = uiputfile(formatos,'GUARDAR Distribución de
Frecuencia');

if or(and(isempty(nomb),isempty(ruta)),nomb==0)
    msgbox('No indico un nombre para guardar archivo',
'Aviso','warn');
else
Nmatriz=handles.Z;
xlswrite([ruta nomb],Nmatriz)

end
catch
end

% --- Executes on selection change in graficas.
function graficas_Callback(hObject, eventdata, handles)
set(handles.guardarimagen,'Enable','on');
set(handles.limpiargrafica,'Enable','on');

opcion=get(handles.graficas,'value');
To=handles.T;
Rt=handles.rt;
Ft=handles.ft;
xx=handles.xs;
yy=handles.ys;
xx1=handles.xs1;
yy1=handles.ys1;

switch opcion
    case 1
        %%Seleccione una opcion

    case 2
        axes(handles.grafica);
        %GRAFICA FIABILIDAD
        plot(To,Rt,'ro','markersize',4,'markerfacecolor','r')
        hold on
        grid on
        plot(xx,yy,'LineWidth',2)
        hold on
        title('FIABILIDAD DE WEIBULL','FontName','Times New
Roman','FontSize',12,'color','k')
        xlabel('Tiempo de operación (h)','FontName','Times New
Roman','FontSize',12,'color','r')
        ylabel('Fiabilidad R(t)%','FontName','Times New Roman','FontSize',
12,'color','r')
        grid on
        hold off

```

```

case 3
    axes(handles.grafica);
%GRAFICA INFIABILIDAD
plot(To,Ft,'ro','markersize',4,'markerfacecolor','r')
hold on
plot(xx1,yy1,'LineWidth',2)
hold on
title('INFIABILIDAD DE WEIBULL','FontName','Times New
Roman','FontSize',12,'color','k')
xlabel('Tiempo de operación (h)','FontName','Times New
Roman','FontSize',12,'color','r')
ylabel('Infiabilidad F(t)%','FontName','Times New Roman','FontSize',
12,'color','r')
grid on
hold off
end

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function graficas_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to graficas (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: popupmenu controls usually have a white background on
Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in guardarimagen.
function guardarimagen_Callback(hObject, eventdata, handles)
figura=figure(2);
colormap('bone')
set(figura,'InvertHardcopy','off','Color','white');
objeto_2 = copyobj(handles.grafica,figura);
set(objeto_2,'Units','normalized','Position',[0.12 0.12 .8 .8])

% --- Executes on button press in limpiargrafica.
function limpiargrafica_Callback(hObject, eventdata, handles)
% limpiar grafica
cla;

function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.

```

```

%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit2_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit3_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit4_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit4 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit5_Callback(hObject, eventdata, handles)

```



```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit5_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit5 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit6_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit6_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit6 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in calcular.
function calcular_Callback(hObject, eventdata, handles)

% Activar botones
set(handles.graficas,'Enable','on');
set(handles.limpiar,'Enable','on');
set(handles.exportar,'Enable','on');
% Calculos
T=handles.x;
a=handles.n;
for i=1:a

    %FORMULA DE AJUSTE MEDIANTE EL MÉTODO DE RANGOS MEDIANOS DE BENARD
MR = ([1:length(T)]-0.3)/(length(T)+0.4);
x=log(T);
y=log(log(1./(1-MR)));
Pol=polyfit(x,y,1);
Beta = Pol (1);
Eta = exp ((Pol(2)/(-Pol(1))));
Gama=0;
R=exp(-((T-Gama)/Eta).^(Beta));
rt=R*100;
F=(1-R);
ft=F*100;

% AJUSTE DE CURVA FIABILIDAD
c = polyfit(log(T),log(rt),1);
xs = linspace(min(T),max(T)+100);

```

```

ys = exp(c(2)) * xs.^(c(1));

% AJUSTE DE CURVA INFIABILIDAD
c1 = polyfit(log(T),log(ft),1);
xs1 = linspace(min(T),max(T)+100);
ys1 = exp(c1(2)) * xs.^(c1(1));
end

%-----
set(handles.edit4,'String',Beta);
set(handles.edit5,'String',Eta);
set(handles.edit6,'String',Gama);
%-----
Z=[T' R' rt' F' ft'];
set(handles.uitable1,'Data',Z);
%-----

%Variables para graficar
handles.T=T;
guidata(hObject, handles)
handles.rt=rt;
guidata(hObject, handles)
handles.ft=ft;
guidata(hObject, handles)
handles.xs=xs;
guidata(hObject, handles)
handles.ys=ys;
guidata(hObject, handles)
handles.xs1=xs1;
guidata(hObject, handles)
handles.ys1=ys1;
guidata(hObject, handles)
handles.Z=Z;
guidata(hObject, handles)

% --- Executes on button press in ingresardatos.
function ingresardatos_Callback(hObject, eventdata, handles)
set(handles.calcular,'Enable','on');
n=str2double(inputdlg('Ingrese la cantidad de datos'));
for i=1:n
    etiqueta=['Ingrese el ',num2str(i),'° dato de tiempo:'];
    x(i)=str2double(inputdlg(etiqueta));
    x=sort(x);
end
xbarra=mean(x);
tiempos=[x'];
set(handles.uitable1,'Data',tiempos);
handles.x=x;
guidata(hObject, handles)
handles.n=n;
guidata(hObject, handles)

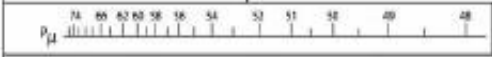
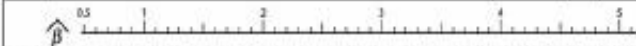
% --- Executes on button press in cerrar.
function cerrar_Callback(hObject, eventdata, handles)
opc=questdlg('¿Desea cerrar la ventana?','SALIR','SI','NO','NO');
if strcmp(opc,'NO')
    return

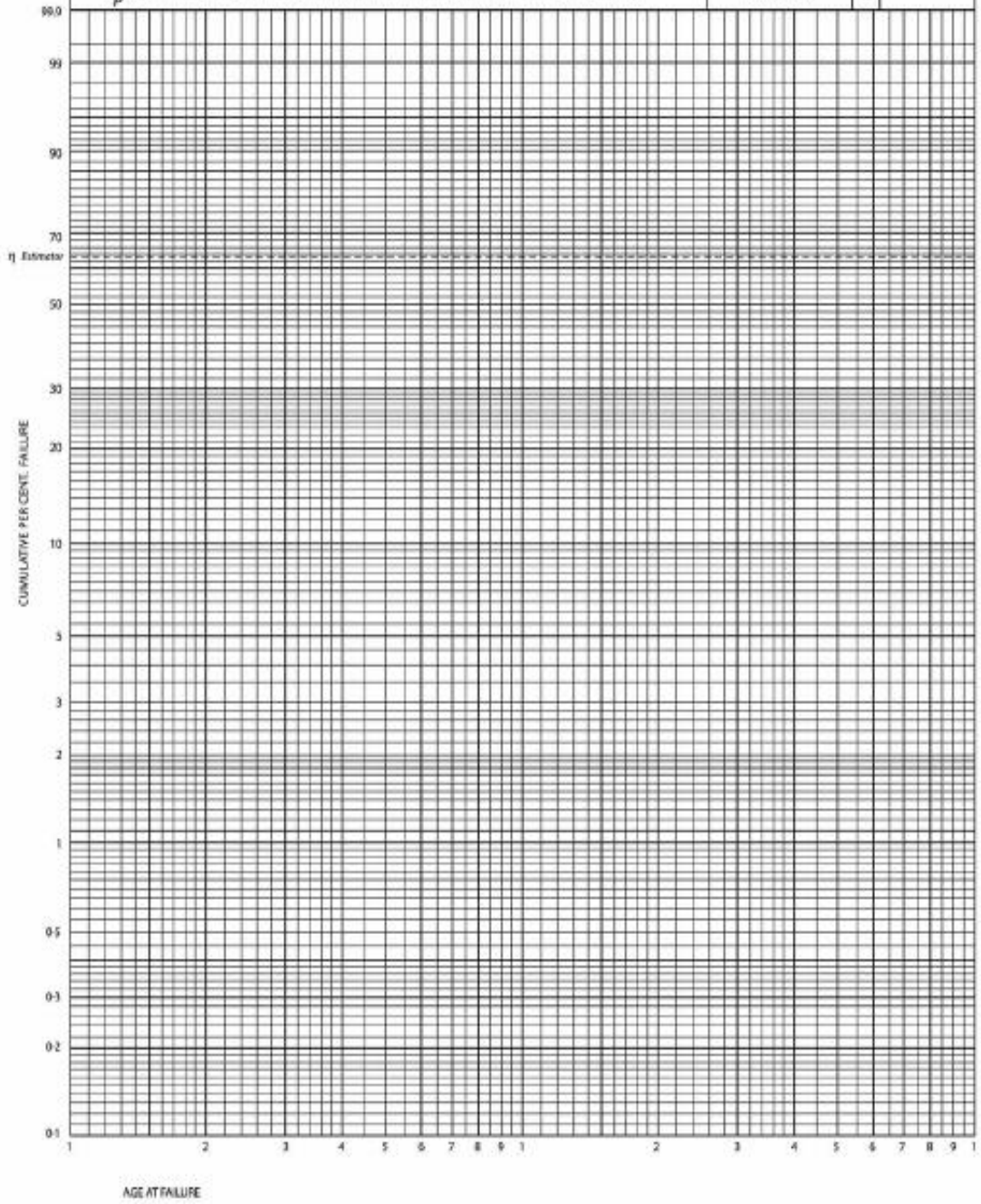
```

```
end
close_fcn(hObject);
function close_fcn(hObject,eventdata,handles)
if strcmp(get(hObject,'type'),'uicontrol')
    delete(gcf);
end
```

Anexo 3. Papel Weibull

© Estimación Póster

| | | | |
|--|--------------------|---------------------|----------------|
| Test Number | Article and Source | Sample Size | N |
| Date | Type of Test | Shape | $\hat{\beta}$ |
|  | | Characteristic life | $\hat{\eta}$ |
|  | | Minimum Life | $\hat{\gamma}$ |



Anexo 4. NTP 331: Fiabilidad: la distribución de Weibull

Año: 1994



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^º 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:

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

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

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) 0 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.

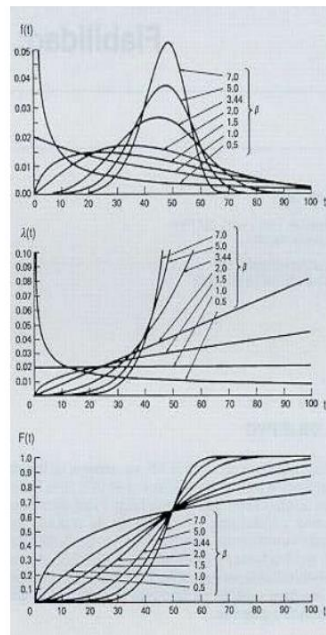


Fig. 1: Variación de la densidad de probabilidad $f(t)$, tasa de fallos $\lambda(t)$ y la función acumulativa de fallos $F(t)$ en función del tiempo para distintos valores del parámetro de forma β

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:
 - 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.
 - 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.
 - 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.
 - 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:
 - 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.
 - 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
 - si $\beta < 1$ podría tratarse de un fallo de juventud antes de su puesta en servicio, como resultado de un margen de seguridad bajo.
 - 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

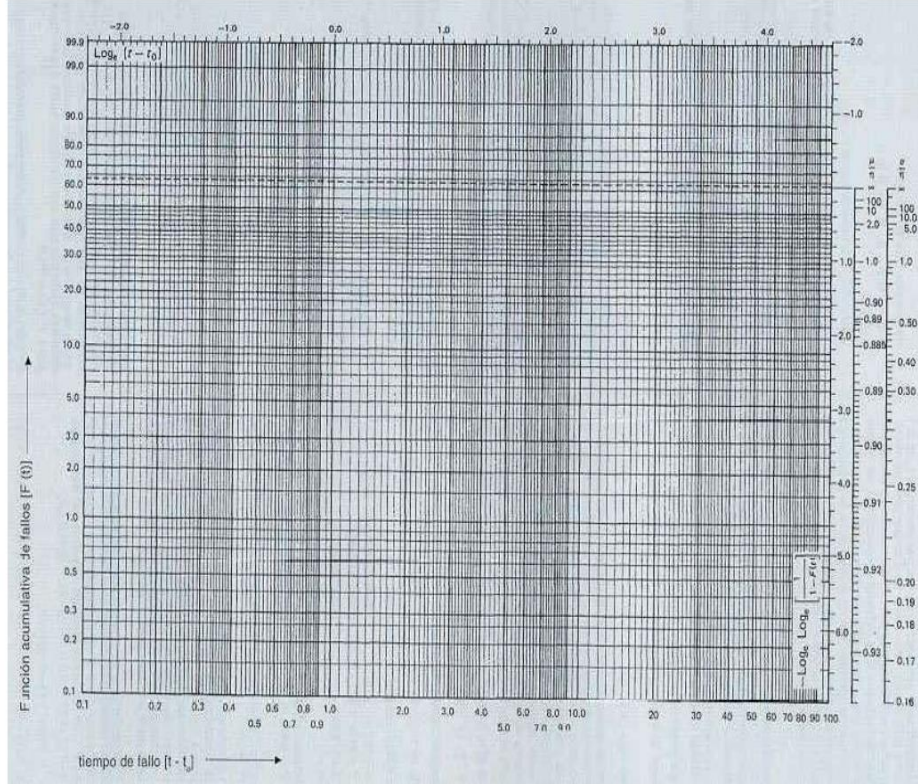


Fig. 2: Muestra del papel de Weibull

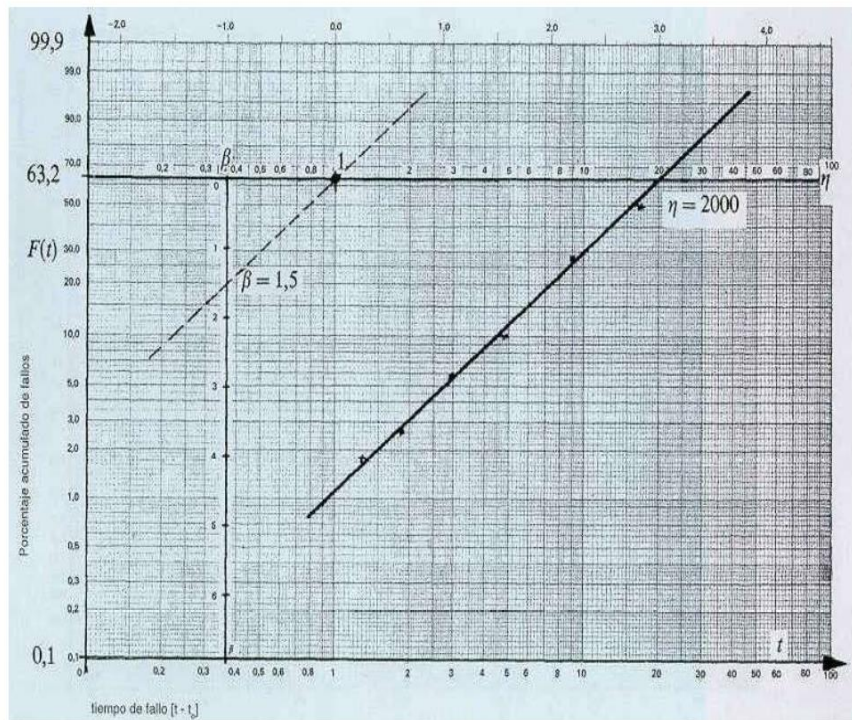


Fig. 3: Lectura de los parámetros h y β en el papel de Weibull

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:

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

$$MTBF = m = E(t) = \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

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

| 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 | $\sqrt{20 - (10)^2}$ | 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 | 0,486 | | | |

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 | 0,9943 | 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 | 0,6483 | 0,5898 | 0,5404 | 0,5000 | 0,4651 | 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 | 0,8959 | 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 | 0,1444 | 0,1359 | 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 | 0,1254 | 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 | 0,4776 | 0,4572 | 0,4385 | 0,4212 | 0,4051 | 0,3903 | 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 | 0,6226 | 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 | 0,6113 | 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 | 0,9125 | 0,8678 | 0,8268 | 0,7890 | 0,7542 | 0,7225 | 0,6927 | 0,6654 | 0,6409 | 0,6182 | 0,6030 | 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 η 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 $F(t) = 63.2$.

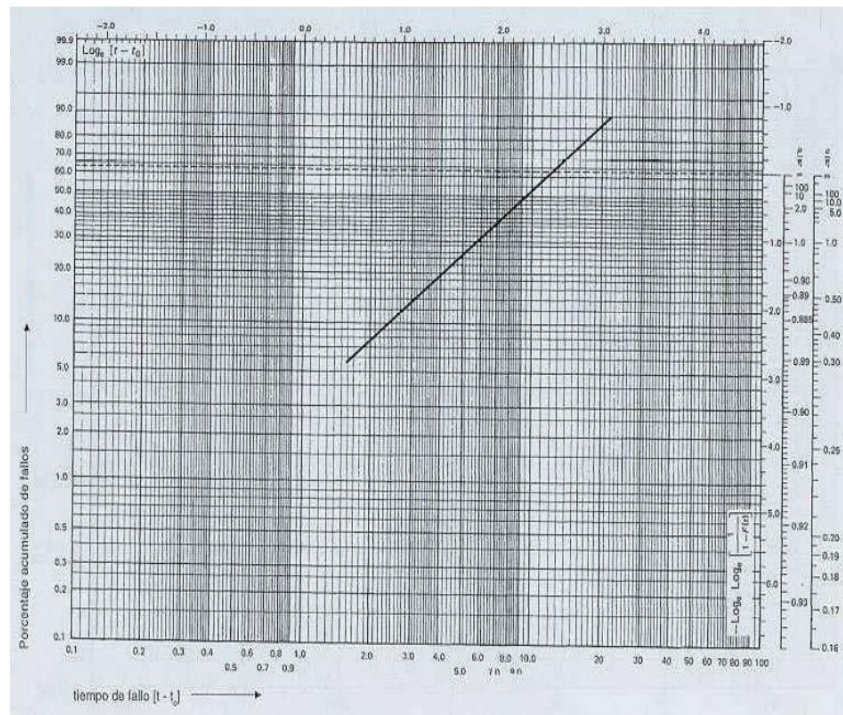


Fig. 4: Resolución gráfica del ejemplo

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:

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

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

La desviación tipo será:

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

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

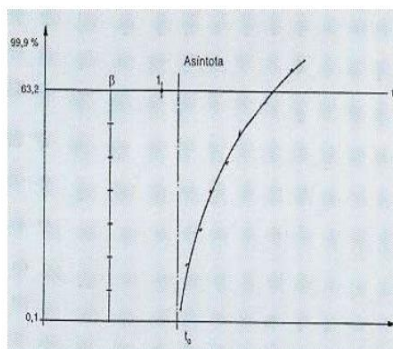


Fig. 5: Representación gráfica para el caso de $t_0 > 0$

sacando logaritmos neperianos:

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

y elevando a $1/\beta$ tendremos:

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

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.

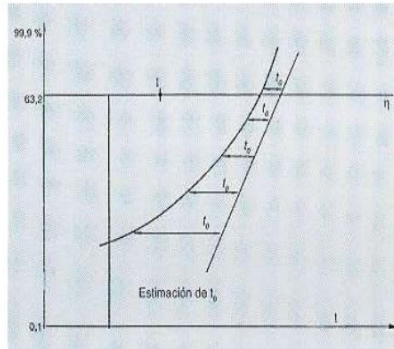


Fig. 6: Representación gráfica para el caso de $t_0 > 0$

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 .

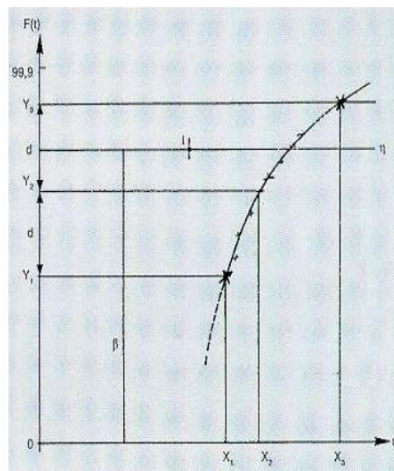


Fig. 7: Cálculo de t_0 por medio de transformaciones funcionales

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. Esplugues 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)



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 Bestrat 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 aerospacial 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 convertir en un riguroso procedimiento de detección de defectos 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 mejora de 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.

Cliente 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 consiga 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 previsibles 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 Iwakawa, 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 deberían 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 hace 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 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 crítico 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 |

tectar 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 contribuyera 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 fallos 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. 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 COMPONENTE | | | | Hoja: | | | | | | |
| NOMBRE Y DPTO. DE LOS PARTICIPANTES Y/O PROVEEDOR: | | COORDINADOR: (Nombre / Dpto.) | | | | MODELO/SISTEMA/FABRICACIÓN | | | | FECHA INICIO: FECHA REVISIÓN: | | | | | | |
| OPERACIÓN O FUNCIÓN | FALLO N° | FALLOS POTENCIALES | | | CAUSAS DEL MODO DE FALLO | ESTADO ACTUAL | MEDIDAS DE ENSAYO Y CONTROL PREVISTAS | | | ACCIÓN CORRECTORA | RESPONSABLE / PLAZO | SITUACIONES DE MEJORA | | | | |
| | | MODOS DE FALLO | EFECTOS | EFECTOS | | | F | G | D | | | IPR | F | G | D | IPR |
| 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 | Modificar programas para sacar muestreo sin perder producción | Proceso Chapa / Anteproyecto | | | | |
| | 2.2 | Piezas mal posicionadas o invertidas | Rechazos, retrabajos | Rechazos, retrabajos | Útil permite varias posiciones | Ninguna | 10 | 10 | 5 | 500 | Pokayoke utililaje para encontrar solución | Proceso Chapa / Anteproyecto | | | | |
| Fechado y marcado de conjuntos | 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 pe- nalización en audi- toría intermedia | 10 | 6 | 1 | 60 | Debe integrarse el marcador como un elemento automático más de la instalación | Proceso Chapa / Anteproyecto | | | | |
| | 3.2 | Marcaje deficiente | Identificación y reclamación dificultosa, rechazos | Identificación y reclamación dificultosa, rechazos | Incorrecta orientación respecto a la pieza | Control visual y pe- nalización en audi- toría intermedia | 6 | 6 | 1 | 36 | Debe integrarse el marcador como un elemento automático más de la instalación | Proceso Chapa / Anteproyecto | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |

plantadas que a veces puede ser que no coincidan exactamente con las propuestas inicialmente. En tales situaciones habría que recalcular 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 Diaz 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.