



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

**PROYECTO TÉCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA:**

---

**“DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM  
(MANTENIMIENTO CENTRADO EN FIABILIDAD) PARA LAS MÁQUINAS  
DE LA SECCIÓN DE TROQUELADO DE LA EMPRESA “HALLEY  
CORPORACIÓN C.L”**

---

**AUTOR: Christopher Vinicio Punguil Hidalgo**

**TUTOR: Ing. Mg. Christian Byron Castro Miniguano**

**AMBATO-ECUADOR**

**Julio – 2022**

## CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Proyecto Técnico, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **“DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM (MANTENIMIENTO CENTRADO EN FIABILIDAD) PARA LAS MÁQUINAS DE LA SECCIÓN DE TROQUELADO DE LA EMPRESA “HALLEY CORPORACIÓN C.L”;** Elaborado por el Sr. Christopher Vinicio Punguil Hidalgo, portador de la cédula de ciudadanía C.I. 1805184742, estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- El presente proyecto técnico es original de su autor.
- Ha sido revisado en cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, Julio 2022

---

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

**TUTOR**

## **AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

Yo, Christopher Vinicio Punguil Hidalgo con C.I. 1805184742 declaro que los contenidos y actividades expuestos en el presente Proyecto Técnico con el tema: **“DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM (MANTENIMIENTO CENTRADO EN FIABILIDAD) PARA LAS MÁQUINAS DE LA SECCIÓN DE TROQUELADO DE LA EMPRESA “HALLEY CORPORACIÓN C.L”**; así como también las fichas técnicas, tabulación de datos, tablas, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Julio 2022



---

**Christopher Vinicio Punguil Hidalgo**

**C.I.: 1805184742**

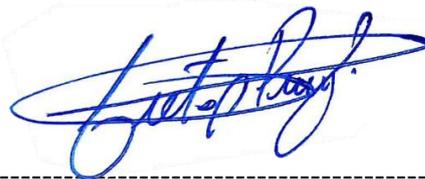
**AUTOR**

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Proyecto Técnico o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

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

Ambato, Julio 2022



---

**Christopher Vinicio Punguil Hidalgo**

**C.I.: 1805184742**

**AUTOR**

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Proyecto Técnico, realizado por el estudiante Christopher Vinicio Punguil Hidalgo de la Carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema: **“DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM (MANTENIMIENTO CENTRADO EN FIABILIDAD) PARA LAS MÁQUINAS DE LA SECCIÓN DE TROQUELADO DE LA EMPRESA “HALLEY CORPORACIÓN C.L”.**

Ambato, Julio 2022

Para constancia firman:

.....  
**Ing. Mg. Oscar Iván Analuiza Maiza**  
**Miembro Calificador**

.....  
**Ing. Francisco A. Peña Jordan MSc, Mg.**  
**Miembro Calificador**

## DEDICATORIA

*Primeramente, este trabajo de Grado, se lo dedico a Dios, por bendecirme día a día, iluminándome por el camino correcto y ayudar a cumplir una de mis metas sobre todo cobijándome con su manto bendito, brindándome salud y vida.*

*A mis Padres Marco y Gloria, por siempre apoyarme en todo incondicionalmente ya que ellos fueron quienes desde niño me enseñaron valores y me guiaron por el buen camino para poder llegar a donde estoy. “Es por ustedes que he llegado tan alto, queridos Padres. Sacrificaron mucho de sus vidas para que yo pudiera construir la mía y no saben lo eternamente agradecido que me encuentro.”*

*A mis primos que siempre me han sacado una sonrisa.*

*A mis amigos que han formado parte de mi vida y han sido partícipes de este logro.*

*Christopher Punguil*

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco al lugar en donde me llene de conocimientos a la Universidad Técnica de Ambato, a los docentes de la carrera de Ingeniería Mecánica por compartir todos sus conocimientos que me ayudaron a ser un gran profesional.*

*Al Ing. Christian Castro, por apoyarme como tutor de mi trabajo, confiar en mí y apoyarme para poder lograr el desarrollo de este trabajo con su paciencia y comprensividad.*

*Finalmente, a mis compañeros por estar en las aulas y haber compartido día a día con ellos experiencias y conocimientos.*

*Christopher Punquil*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN .....	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ECUACIONES .....	xv
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT .....	xviii
CAPITULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Justificación:.....	3
1.3. Objetivos: .....	4
1.3.1. Objetivo General:.....	4
1.3.2. Objetivos Específicos: .....	4
1.4. Fundamentación Teórica. ....	5
1.4.1. Mantenimiento.....	5
1.4.2. Mantenimiento Preventivo.....	5
1.4.3. Mantenimiento Predictivo.....	6
1.4.4. Mantenimiento Correctivo.....	6
1.4.5. Plan de mantenimiento.....	7
1.4.6. Mantenimiento centrado en fiabilidad (RCM).....	8

1.4.7.	Plan de mantenimiento basado en RCM.....	9
1.4.7.1.	Fases del plan de mantenimiento RCM .....	10
1.4.9.	Análisis de modos y efectos de fallo (AMFE).....	13
1.4.9.1.	Número prioritario de riesgo.....	13
1.5.	Fundamentación Legal. ....	16
1.5.1.	Norma SAE JA1011. ....	16
1.5.2.	NTP 331: Fiabilidad, distribución de Weibull.....	17
1.5.3.	NTP 679: Análisis modal de fallos y efectos. AMFE.....	18
1.5.4.	Decreto Ejecutivo 2393. ....	18
CAPÍTULO II .....		21
METODOLOGÍA .....		21
2.1.	Materiales y recursos.....	21
2.1.1.	Recursos .....	21
2.1.2.	Recursos humanos:.....	21
2.1.3.	Recursos materiales:.....	21
2.1.4.	Recursos Institucionales:.....	21
2.1.5.	Recursos Económicos:.....	21
2.2.	Tipo de investigación y métodos.....	22
2.2.1.	Investigación exploratoria .....	22
2.2.2.	Investigación descriptiva .....	22
2.2.3.	Investigación aplicada .....	22
2.2.4.	Investigación de campo .....	23
2.2.5.	Mantenimiento basado en confiabilidad RCM.....	23
2.3.	Técnicas e instrumentos de investigación .....	23
2.3.1.	Búsqueda bibliográfica.....	23
2.3.2.	Observación directa .....	23
2.4.	Diagrama de flujo para el desarrollo del proyecto. ....	24
CAPÍTULO III .....		25

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
3.1. Análisis y discusión de los resultados.....	25
3.1.1. Funciones del sistema o equipo.....	25
3.1.2. Inventario de las máquinas del área de troquelado.....	26
3.1.3. Dossier de mantenimiento de las máquinas de la empresa.....	27
3.1.4. Modos de fallo y efectos de fallo de las máquinas del área de troquelado. Matriz AMFE ver Anexo (NTP 679).....	37
3.1.5. Análisis de fiabilidad de las máquinas. Distribución de Weibull.....	51
Modelo matemático de Weibull para el túnel termoencogedor. ....	68
Modelo gráfico de Weibull. ....	93
Modelo Gráfico Troqueladoras hidráulicas. ....	93
Bitácora de mantenimiento preventivo basada en las curvas de fiabilidad de Weibull. .....	124
Gamas de mantenimiento.....	124
CAPÍTULO IV.....	200
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	200
4.1. Conclusiones. ....	200
4.2. Recomendaciones.....	202
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	203
ANEXOS.....	206

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de la gravedad del modo de fallo según la repercusión en el cliente / usuario .....	14
Tabla 2: Clasificación de la frecuencia / ocurrencia del modo de fallo .....	15
Tabla 3: Clasificación de la facilidad de detección del modo de fallo .....	15
Tabla 4: Inventario de máquinas del área de troquelado.....	26
Tabla 5: Estadístico de mantenimiento de las máquinas troqueladoras .....	52
Tabla 6. Parámetros iniciales para las máquinas troqueladoras.....	59
Tabla 7: Hoja de cálculo de la fiabilidad de Weibull.....	60
Tabla 8: Estadístico de mantenimiento del túnel Termoencogedor.....	63
Tabla 9: Parámetros iniciales para el túnel termoencogedor .....	69
Tabla 10: Cálculo de la fiabilidad de Weibull para el túnel termoencogedor.....	70
Tabla 11: Estadístico de mantenimiento de la cortadora de simbra.....	73
Tabla 12: Parámetros iniciales para la cortadora de simbra.....	79
Tabla 13: Cálculo del modelo matemático de Weibull para la cortadora de simbra.	80
Tabla 14: Parámetros iniciales para la cortadora de simbra.....	89
Tabla 15: Cálculo del modelo matemático de Weibull para la selladora de alta frecuencia.....	90
Tabla 16: Cálculo del rango medio en el método de Weibull Gráfico para troqueladoras hidráulicas.....	94
Tabla 17: Coeficientes de fallos prensas troqueladoras hidráulicas.....	97
Tabla 18: Cálculo del rango medio en el método de Weibull Gráfico para troqueladoras mecánicas.....	100
Tabla 19: Coeficientes de fallos prensas troqueladoras mecánicas.....	103
Tabla 20: Cálculo de fiabilidad mediante el método gráfico de las troqueladoras mecánicas.....	103
Tabla 21: Cálculo del rango medio en el método de Weibull Gráfico para el túnel termoencogedor.....	106
Tabla 22: Coeficientes de fallos prensas troqueladoras mecánicas.....	109
Tabla 23: Cálculo de fiabilidad mediante el método gráfico del túnel termoencogedor.....	109
Tabla 24: Cálculo del rango medio en el método de Weibull Gráfico para cortadora de simbra.....	112
Tabla 25: Coeficientes de fallos para cortadora de simbra.....	115

Tabla 26: Cálculo de fiabilidad mediante el método gráfico de la cortadora de simbra. .....	115
Tabla 27: Cálculo del rango medio en el método de Weibull Gráfico para selladora de alta frecuencia. ....	118
Tabla 28: Coeficientes de fallos para selladora de alta frecuencia. ....	121
Tabla 29: Cálculo de fiabilidad mediante el método gráfico de la selladora de alta frecuencia. ....	121
Tabla 30: Codificación de colores para las tareas de mantenimiento periódicas. ....	124
Tabla 31: Gama de mantenimiento Enero. ....	125
Tabla 32: Gama de mantenimiento Febrero. ....	132
Tabla 33: Gama de mantenimiento Marzo. ....	138
Tabla 34: Gama de mantenimiento Abril. ....	144
Tabla 35: Gama de mantenimiento Mayo. ....	151
Tabla 36: Gama de mantenimiento Junio. ....	158
Tabla 37: Gama de mantenimiento Julio. ....	164
Tabla 38: Gama de mantenimiento Agosto. ....	170
Tabla 39: Gama de mantenimiento Septiembre. ....	176
Tabla 40: Gama de mantenimiento Octubre. ....	181
Tabla 41: Gama de mantenimiento Noviembre. ....	187
Tabla 42: Gama de mantenimiento Diciembre. ....	193

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Preguntas en el mantenimiento basado en RCM.....	8
Figura 2: Máquina troqueladora mecánica de 45 toneladas.....	11
Figura 3: Máquina troqueladora rotativa.....	12
Figura 4: Máquina troqueladora hidráulica de 250 toneladas.....	12
Figura 5: Esquematación del número prioritario de riesgo.....	13
Figura 6: Metodología AMFE en mantenimiento basado en RCM.....	16
Figura 7: Consideraciones para la instalación máquinas fijas.....	19
Figura 8: Consideraciones para las transmisiones por correas.....	20
Figura 9: Diagrama de flujo del análisis de mantenimiento basado en RCM.....	24
Figura 10: Esquema de ubicación de las máquinas.....	25
Figura 11: Gráfica MTBF vs D para máquinas troqueladoras.....	57
Figura 12: Gráfica MTTR vs D para máquinas troqueladoras.....	57
Figura 13: Gráfica de fiabilidad vs tiempo de operación para máquinas troqueladoras. .....	62
Figura 14: Gráfica de infiabilidad vs tiempo de operación para máquinas troqueladoras. .....	62
Figura 15: Gráfica MTBF vs D para túnel termoencogedor.....	67
Figura 16: Gráfica MTTR vs D para túnel termoencogedor.....	67
Figura 17: Gráfica de fiabilidad vs tiempo de operación para el túnel termoencogedor. .....	72
Figura 18: Gráfica de infiabilidad vs tiempo de operación para el túnel termoencogedor.....	72
Figura 19: Gráfica MTBF vs D para cortadora de simbra.....	77
Figura 20: Gráfica MTTR vs D para cortadora de simbra.....	77
Figura 21: Gráfica Fiabilidad vs tiempo de operación para cortadora de simbra.....	82
Figura 22: Gráfica infiabilidad vs tiempo de operación para cortadora de simbra.....	82
Figura 23: Gráfica MTBF vs D para selladora de alta frecuencia.....	87
Figura 24: Gráfica MTTR vs D para selladora de alta frecuencia.....	87
Figura 25: Gráfica Fiabilidad vs tiempo de operación para la selladora de alta frecuencia.....	92
Figura 26: Gráfica infiabilidad vs tiempo de operación para la selladora de alta frecuencia.....	92
Figura 27: Gráfica de Weibull Prensas troqueladoras hidráulicas.....	96

Figura 28: Cálculo de fiabilidad mediante el método gráfico de las troqueladoras hidráulicas. ....	97
Figura 29: Confiabilidad vs tiempo de operación Troqueladoras hidráulicas. ....	99
Figura 30: Gráfica de Weibull Prensas troqueladoras Mecánicas. ....	102
Figura 31: Fiabilidad vs tiempo de operación troqueladoras mecánicas. ....	105
Figura 32: Gráfica de Weibull para túnel termoencogedor.....	108
Figura 33: Fiabilidad vs tiempo de operación túnel termoencogedor.....	111
Figura 34: Gráfica de Weibull cortadora de simbra.....	114
Figura 35: Gráfica de fiabilidad vs tiempo de operación de la cortadora de simbra. ....	117
Figura 36: Gráfica de Weibull selladora de alta frecuencia.....	120
Figura 37: Gráfica de fiabilidad vs tiempo de operación de la selladora de alta frecuencia.....	123

## ECUACIONES

Ecuación 1: *Número prioritario de riesgo*

Ecuación 2: *Tasa de fallos*

Ecuación 3: *Tasa de reparación*

Ecuación 4: *Weibull tasa de fallos*

Ecuación 5: *Tasa de reparación*

Ecuación 6: *Disponibilidad*

Ecuación 7: *Tiempo de parada total*

Ecuación 8: *Estimación de media*

Ecuación 9: *Varianza*

Ecuación 10: *Desviación estándar*

Ecuación 11: *Coefficiente Beta*

Ecuación 12: *Coefficiente Alfa*

Ecuación 13: *Fiabilidad Método Matemático*

Ecuación 14: *Aproximación de rangos medios*

Ecuación 15: *Fiabilidad Método Gráfico*

## GLOSARIO DE TÉRMINOS.

1. **AMFE:** Análisis de modos y efectos de fallo.
2. **SAE:** Sociedad de Ingenieros Automotrices.
3. **Distribución de Weibull:** Tratamiento especial de la distribución de la confiabilidad que incluye el perfil de riesgo en función del tiempo.
4. **RCM:** Metodología de desarrollo de planes de mantenimiento basado en la confiabilidad de sistemas y componente para garantizar que los sistemas continúen operativos según los requerimientos de la empresa o el usuario.
5. **MTBF:** Tiempo medio entre fallas (Mean Time Between Failures)
6. **MTTR:** Tiempo medio de reparación (Mean Time to Repair)
7. **D:** Disponibilidad

## RESUMEN

El presente proyecto técnico fue desarrollado tomando en cuenta las necesidades de la empresa “Halley Corporación C.L” de mejorar las actividades de mantenimiento en su sección de troquelado, las máquinas presentes en esta sección son de suma importancia para la productividad de la empresa por lo que fue necesario adoptar un enfoque de mantenimiento basado en la confiabilidad para determinar las actividades que permitirán a las máquinas su buen funcionamiento durante prolongados periodos de tiempo.

Para identificar los posibles modos de fallo, así como sus causas y efectos se utilizó la NTP 679 que determina las directrices para un análisis de modos y efectos de fallo, luego se aplicó la NTP 331 para el análisis estadístico de Weibull en donde se tomó en cuenta el tiempo de buen funcionamiento, los tiempos de parada y tiempos muertos para evaluar la disponibilidad de las máquinas, así como su fiabilidad.

El producto final del proyecto es un plan de mantenimiento basado en RCM que contempla dos actividades de mantenimiento por cada modo de fallo, en 12 gamas con 57 actividades aplicables a las máquinas de la sección de troquelado, se llegó a este resultado mediante a través de la norma SAE JA1011 y de este modo se programaron tareas de mantenimiento que permitirán prevenir el desgaste de la maquinaria a través de actividades planificadas a fin de mantener las máquinas en buen estado.

**Palabras clave:** Mantenimiento RCM, Plan preventivo, Distribución Weibull, Troqueladoras, Gamas de mantenimiento.

## ABSTRACT

This technical project was developed considering the needs of the company “Halley Corporation C.L.” to improve the maintenance activities in its die cutting section, the machines present in this section are of utmost importance for the productivity of the company so it was necessary to adopt a maintenance approach based on reliability to determine the activities that will allow the machines to function properly for extended periods of time.

To identify the possible failure modes as well as their causes and effects, NTP 679 was used to determine the guidelines for failure modes and effects analysis, then NTP 331 was applied for Weibull statistical analysis, where the uptime, downtime and dead time were considered to evaluate the availability of the machines as well as their reliability.

The final product of the project is a maintenance plan based on RCM that contemplates two maintenance activities for each failure mode, in 12 ranges with 57 activities applicable to the machines of the die-cutting section. This result was reached through the SAE JA1011 standard and thus maintenance tasks were programmed that will prevent wear of the machinery through planned activities to keep the machines in good condition.

**Keywords:** RCM maintenance, Preventive plan, Weibull distribution, Die-cutting Machines, Maintenance ranges.

# CAPITULO I

## MARCO TEÓRICO

### **1.1. Antecedentes**

Las actividades de mantenimiento dentro de la empresa permiten mejorar la disponibilidad de los sistemas y equipos de producción, a su vez, la calidad del producto es mejor, el ambiente de trabajo es más seguro y los costos operativos se reducen. La metodología de análisis de mantenimiento centrado en la confiabilidad brinda la posibilidad de seleccionar estrategias adecuadas para las actividades de mantenimiento en los sistemas y equipos de una planta, en base al nivel de criticidad y parámetros de fiabilidad. A nivel mundial, es una metodología aplicable para todo tipo de industrias.

Esta metodología de mantenimiento utiliza un enfoque sistemático para desarrollar estrategias de mantenimiento que tengan en cuenta factores como la vida útil del sistema, la eficiencia operativa y la rentabilidad del mantenimiento [1].

En una planta de fabricación de dióxido de titanio (Travancore Titanium Products Ltd.) con una capacidad de producción de 20.000 toneladas al año se aplicó la metodología de análisis RCM en donde se pudo detectar que una baja disponibilidad de los equipos, pese a que la planta mantiene actividades de mantenimiento regulares. La metodología fue aplicada en la unidad de calcinación que consta de un transportador de tornillo, un horno rotatorio, la unidad de combustión de este sistema consta de dos compresores una bomba de engranajes y un calentador y, a su vez, un subsistema de enfriamiento. En la fase de recolección de la información se analizó el historial de fallos, y es allí donde se identificó la gran ocurrencia de fallos debidos a la antigüedad de la planta. Aplicando este método se realizó una simulación del mantenimiento, en donde se visualizó un aumento de la disponibilidad de los equipos y el margen de ganancias debido a la productividad continua de la empresa [2].

Esta técnica también se puede aplicar en componentes críticos de un sistema de producción, la identificación de estos componentes también es una tarea importante, con esta finalidad existen varios aspectos que afectan en el indicador de criticidad. En el caso de estudio de análisis de criticidad de un torno CNC se detectaron parámetros como el costo, dependencia funcional, complejidad, la mantenibilidad y el impacto de

la seguridad en el proceso productivo de manufactura. Dentro de esta máquina se despliegan varios componentes que son indispensables para el funcionamiento del equipo. De este análisis se determinó que el componente crítico del torno CNC es la torreta, mientras que el subsistema con menor índice de criticidad fue el hidráulico; con estos resultados, se pueden priorizar las actividades de mantenimiento de cada componente de la máquina [3].

En trabajos de investigación similares se encontró que para elaborar planes de mantenimiento para maquinaria industrial previamente se elaboraron diagnósticos a las unidades de la maquinaria, sus elementos eléctricos y mecánicos; y también se identificaron los daños más frecuentes [1]. Dentro de la metodología se aplicó el mantenimiento centrado en confiabilidad de siete fases, entre las cuales se encuentran: detección de fallas funcionales, modos de falla, efectos de las fallas, hoja de decisión, y prevención de fallos [2].

Los resultados de la implantación de RCM revelaron las fallas más comunes en los sistemas como son: rupturas de bandas, daños en cojinetes, niveles bajos y fugas de aceite, fisuras y rupturas de componentes. Mediante los planos y la descripción de los componentes se elaboraron las matrices que les permitieron a los autores obtener una visión de los efectos de las fallas en los componentes de las máquinas [3].

En otras dependencias industriales enfocadas a la producción se elaboró la optimización del plan de mantenimiento de diversas áreas como la eléctrica y mecánica, para este proyecto se basó en el análisis de criticidad y mantenimiento centrado en confiabilidad. En el levantamiento de la información de algunas industrias, se encontró que cuentan con un plan de mantenimiento preventivo, posteriormente se determinó la efectividad de las áreas de producción mediante la aplicación de siete técnicas de evaluación en donde se involucra el personal de mantenimiento, medios técnicos, mantenimiento preventivo, organización del mantenimiento correctivo, stock de repuestos, sistema de información y análisis de resultados [4].

Empleando esta técnica de mantenimiento se efectuó una clasificación de las probabilidades y consecuencias de falla. Recolectando la información necesaria se elaboró una matriz enfocada hacia los sistemas eléctricos; los aspectos más relevantes

de esta técnica fueron la función y el contexto de los sistemas, el tipo de fallo funcional, los modos de fallo y los efectos de fallo [5].

En algunas industrias enfocadas en la producción de plásticos se implementó también el mantenimiento centrado en la confiabilidad. En la evaluación de estas industrias se pudo conocer información sobre las hojas de vida de las unidades, bitácoras, cronogramas de mantenimiento, órdenes de trabajo, manuales del fabricante, para la evaluación de la gestión de mantenimiento se valoró mediante una escala de cumplimiento [6].

En la evaluación se observó que las áreas funcionales de preparación y planificación del trabajo, presupuestos de mantenimiento y control de costos obtienen entre el 50% y 52% alejándose de la meta establecida. El plan de mantenimiento en estas industrias se efectuó sobre los sistemas críticos: refrigeración, sistemas de moldeo, máquinas inyectoras. Las ventajas que se obtuvieron de la aplicación de esta metodología es que permite incluir actividades preventivas en los sistemas con mayor nivel de criticidad para poder reducir significativamente la tasa de fallos. El resultado de esta aplicación es el incremento de la disponibilidad y confiabilidad de la maquinaria de estas plantas industriales [7].

### **1.2. Justificación:**

El presente proyecto técnico tiene como finalidad desarrollar un plan de mantenimiento centrado en fiabilidad o RCM, en las máquinas de la sección de troquelado de la empresa Halley Corporación C.L. enfocado a los componentes y sistemas mecánicos, el principal beneficio de adoptar una metodología de mantenimiento centrado en Fiabilidad en esta planta industrial es aumentar la fiabilidad de la instalación, es decir, reducir el tiempo de parada de planta por averías inesperadas que impidan cubrir los planes de producción adoptados por la empresa así como también aumentar la disponibilidad, es decir, la proporción del tiempo que la planta está en disposición de producir, y disminuir al mismo tiempo los costos de mantenimiento. El análisis de los fallos potenciales de una instalación industrial según esta metodología aporta una serie de resultados positivos, y permite gestionar adecuadamente las tareas de mantenimiento.

### **1.3.Objetivos:**

#### **1.3.1. Objetivo General:**

Elaborar un plan de mantenimiento basado en RCM (Mantenimiento Centrado en Fiabilidad) las máquinas de la sección de troquelado de la empresa Halley Corporación C.L.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos:**

- **Elaborar un diagnóstico de la situación actual de los sistemas y componentes de la maquinaria de la sección de troquelado.**

El diagnostico se lo realizará mediante una revisión técnica, conjuntamente con la elaboración de fichas técnicas de las máquinas de la sección de troquelado, donde se detallará todos las características y el estado actual de cada una de ellas.

- **Describir las funciones y modos de falla de los sistemas y componentes de las máquinas y equipos.**

Con la utilización de la Nota Técnica de Prevención NTP 679 (Análisis modal de fallos y efectos. AMFE), permitirá puntualizar diferentes criterios mediante una matriz de ponderación AMFE, con la cual podremos determinar la frecuencia y gravedad con las que suceden los fallos.

- **Determinar la fiabilidad de las máquinas empleando la distribución de Weibull y el historial de fallas.**

La fiabilidad de las máquinas será determinada mediante los parámetros que se encuentran establecidos Nota Técnica de Prevención NTP 331, (Fiabilidad: la distribución de Weibull), con esto se puede encontrar todos los datos necesarios para poder aplicar correctamente la distribución de Weibull juntamente con el historial de fallas.

- **Aplicar de la metodología RCM para la definición del plan de mantenimiento para la maquinaria de la sección de troquelado.**

Utilizando criterios mínimos según SAE JA1011, la metodología RCM permitirá elaborar una gama de mantenimiento para las máquinas de la sección de troquelado, respondiendo a las preguntas que emplea esta metodología así llegando a programar

tareas de mantenimiento que permitan mantener y prevenir el desgaste de la maquinaria juntamente con actividades fiables en la ejecución del mantenimiento.

#### **1.4.Fundamentación Teórica.**

##### **1.4.1. Mantenimiento.**

Se compone del conjunto de actividades y estrategias adoptadas con la finalidad de precautelar, prevenir y corregir los fallos que se presentan en las instalaciones y equipos en las diferentes organizaciones. [8]

Es aplicado a bienes a los cuales se les da tratamientos cuyo fin es evitar que circunstancias como el uso o el paso del tiempo afecten a su funcionamiento adecuado, incluye controles funcionales, mantenimiento, reparación o reemplazo de dispositivos, equipos, maquinaria, infraestructura de edificios y servicios públicos de apoyo necesarios en instalaciones industriales, comerciales o residenciales. Con el tiempo el concepto ha llegado a incluir diversas prácticas rentables para mantener el equipo en funcionamiento; estas actividades suceden antes o después de una falla.[8]

##### **1.4.2. Mantenimiento Preventivo.**

El mantenimiento preventivo es el mantenimiento regular y de rutina de los equipos y activos con el fin de conservarlos en funcionamiento y evitar cualquier tiempo de inactividad no planificada o costosa debido a fallas imprevistas del equipo. [9]

Una táctica de mantenimiento exitosa requiere planificar y programar el mantenimiento del equipo antes de que suceda un problema. Un buen plan de mantenimiento preventivo también involucra mantener registros de las inspecciones anteriores y el servicio del equipo.[9]

Por consecuencia de la complejidad de mantener un programa de mantenimiento preventivo para una gran cantidad de equipos o máquinas, muchas empresas utilizan software de mantenimiento preventivo para instituir las tareas de mantenimiento preventivo necesarias.[9]

Los requisitos exactos de mantenimiento preventivo se modificarán según el equipo y la operación que lleva a cabo. La industria utiliza estándares para ayudar a determinar los programas de mantenimiento para que los activos funcionen hasta cuando llegue el fallo. Estos modelos también cubrirán el tipo de inspección o mantenimiento que se necesita.[9]

Idealmente, siguiendo las pautas determinadas por los fabricantes o los estándares, un programa de mantenimiento preventivo debería endosar un mantenimiento proactivo en lugar de tener que recurrir al mantenimiento reactivo cuando algo ya ha comenzado a fallar. [9]

Seguir este tipo de estrategia de mantenimiento predictivo, a través de tareas como el monitoreo de la condición, requiere un registro preciso de las inspecciones y el servicio frente a la comprensión de la vida útil de un equipo en específico. Estos registros ayudarán a determinar cuándo se requiere mantenimiento preventivo.[9]

#### **1.4.3. Mantenimiento Predictivo.**

El mantenimiento predictivo (PdM) es el mantenimiento que supervisa el rendimiento y el estado del equipo durante el funcionamiento normal para disminuir la probabilidad de fallas. También es conocido como mantenimiento basado en condiciones, el mantenimiento predictivo se ha utilizado en el mundo industrial desde hace varios años y en muchas industrias ha dado excelentes resultados.[9]

El objetivo del mantenimiento predictivo es la habilidad de predecir primero cuándo podría ocurrir una falla del equipo o máquina en función de ciertos factores, seguido de la prevención de la falla por medio de un mantenimiento correctivo y proyectado regularmente. [9]

El mantenimiento predictivo no puede existir sin la supervisión de circunstancias, que se define como la supervisión continua de las máquinas durante las condiciones del proceso para garantizar el uso óptimo de las máquinas. Hay tres aspectos del monitoreo de condición: en línea, periódica y remota. El monitoreo de condición en línea se define como el monitoreo continuo de máquinas o procesos de producción, con datos recopilados sobre diversos parámetros que son propios de cada equipo o máquina.[9]

Por último, la monitorización remota del estado, como su nombre indica, permite monitorizar el equipo desde una ubicación remota, con la transmisión de datos para su análisis, lo que corresponde a una faceta de mantenimiento más sofisticada. [9]

#### **1.4.4. Mantenimiento Correctivo.**

El mantenimiento correctivo es el proceso de restablecimiento de activos después de un tiempo de inactividad no planificado. Incluye resolución de problemas, desmontaje, reajuste, reparación, reemplazo y realineación de equipos o máquinas. El término

también puede referirse al mantenimiento de no planificado en caso de que se presente alguna falla importante que afecte la productividad en una empresa. [9]

Este tipo de mantenimiento se puede clasificar de varias formas diferentes. Sin embargo, la mayoría de las definiciones dividen la práctica en cinco clasificaciones. En todas las técnicas de ingeniería de mantenimiento se desglosa los tipos de mantenimiento correctivo como:

- Reparación de fallos: restaurar un activo fallido a su estado operativo.
- Revisión: Restauración de un activo a su estado de servicio completo como se describe en los estándares de capacidad de servicio de mantenimiento. En esta etapa los activos solo se inspeccionan y reparan según corresponda.
- Salvamento: Eliminación de materiales no reparables y utilización de materiales recuperados de activos irreparables.
- Servicio: reparación después de que se toman medidas correctivas, cuando hay que reparar o reemplazar objetos.
- Reconstruir: Restaurar un activo lo más cerca posible de los estándares originales en términos de rendimiento, apariencia y vida útil. Las reconstrucciones implican desmontar las piezas, examinarlas, reparar los componentes gastados y reemplazar los que no funcionan de acuerdo con las especificaciones originales de los fabricantes y las tolerancias de fabricación. Luego, los activos reensamblados se prueban para garantizar que coincidan con los requisitos de producción originales. [9]

#### **1.4.5. Plan de mantenimiento.**

Un plan de mantenimiento es un documento que define el trabajo realizado para mantener los activos en una instalación de forma proactiva. El contenido del documento contribuye a facilitar el uso continuo de un activo con un rendimiento adecuado. Mediante un desarrollo adecuado del plan de mantenimiento se puede evitar averías importantes o renovaciones imprevistas si se adhieren pautas recomendadas para un buen mantenimiento.[10]

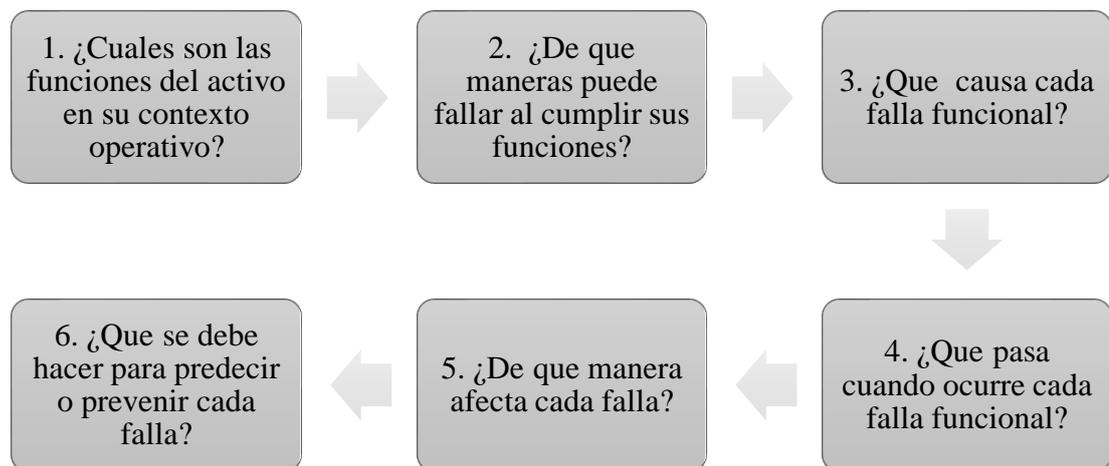
La idea detrás de la planificación del mantenimiento es garantizar que pueda mantener las condiciones de funcionamiento adecuadas de las máquinas y equipos, y de este

modo se garantizan mejoras en la rentabilidad y una buena gestión de equipos en la empresa. .[10]

#### 1.4.6. Mantenimiento centrado en fiabilidad (RCM)

Es una técnica usada en la elaboración de planes de mantenimiento de equipos industriales basándose en asegurar las funciones del equipo para la satisfacción del usuario, operador o propietario. Uno de los estándares ampliamente utilizados en la técnica RCM es el SAE JA1011 [11].

Este método se encarga de la organización de las actividades y de la gestión del mantenimiento para desarrollar programas organizados que se basan en la confiabilidad de los equipos, maquinaria y sistemas. Con ello se asegura un programa efectivo de mantenimiento que se centra en que la confiabilidad original inherente al equipo se mantenga en el tiempo, se define como un proceso utilizado para determinar que se debe hacer para asegurar que cualquier activo continúe cumpliendo con el propósito para el que fue construido o diseñado asegurando la inversión con la que fue adquirido y al mismo tiempo su productividad [12]. En la Figura 1 se presentan las preguntas que rigen a esta metodología de mantenimiento.



**Figura 1:** Preguntas en el mantenimiento basado en RCM.

**Fuente:** [13].

Para responder de manera adecuada todas las preguntas del proceso de RCM, se debe contar con toda la información del activo y deben tomarse decisiones con base en esta información, por lo cual se requiere considerar en el proceso un paso de compilación y análisis de información previo a los pasos ya descritos. También es importante considerar los pasos complementarios que siguen al término del análisis y que concretarían la implementación, esto ayuda a que el RCM no quede solamente en papel y sea implantado de manera adecuada en la entidad para el que fue elaborado [14].

#### **1.4.7. Plan de mantenimiento basado en RCM.**

Para el desarrollo del plan de mantenimiento basado en RCM se debe seguir una metodología detallada que permitirá incrementar la calidad de análisis y efectividad del resultado. [15]

Previo a la aplicación de la metodología descrita en la norma SAE JA1011 es pertinente recopilar la información necesaria en donde se implementará el plan de mantenimiento. La información básica se compone de “planos, diagramas, manuales, bitácoras de operación / mantenimiento, documentos como el contexto operativo, también es esencial que se entreviste al personal de operación, producción y mantenimiento para extraer información sobre los requerimientos de desempeño deseados y problemas actuales que se estén presentando” [15].

Durante el análisis RCM es conveniente normalizar el análisis de modos de falla o posibles causas de falla y categorizarlos. Con esta finalidad se puede emplear la Nota Técnica de Prevención NTP 679 que describe la metodología de este análisis mediante la matriz AMFE. La nota expone los componentes principales que se deben tomar en cuenta como la Detectabilidad, Frecuencia y Gravedad; la interacción de los tres factores da como resultado el Índice de Prioridad de Riesgo, mediante el cual se puede clasificar los fallos [16].

Después del análisis RCM se debe implementar el plan de mantenimiento y gestionar las acciones recomendadas, para, posteriormente medir el desempeño del plan propuesto [15]. La redacción del plan de mantenimiento desarrollado se compone de las siguientes etapas:

#### **1.4.7.1.Fases del plan de mantenimiento RCM**

El plan de mantenimiento RCM será aplicado en 10 fases.

1. Definición clara de lo que se pretende implantando RCM. Determinación de indicadores, y valoración de estos antes de iniciar el proceso.
2. Codificación y listado de todos los sistemas, subsistemas y equipos que componen la planta. Para ello es necesario recopilar esquemas, diagramas funcionales, diagramas lógicos, etc.
3. Estudio detallado del funcionamiento del sistema. Determinación de las especificaciones del sistema Listado de funciones primarias y secundarias del sistema en su conjunto. Listado de funciones principales y secundarias de cada subsistema.
4. Determinación de los fallos funcionales y fallos técnicos.
5. Determinación de los modos de fallo o causas de cada uno de los fallos encontrados en la fase anterior.
6. Estudio de las consecuencias de cada modo de fallo. Clasificación de los fallos en críticos, significativos, tolerables o insignificantes en función de esas consecuencias.
7. Determinación de medidas preventivas que eviten o atenúen los efectos de los fallos.
8. Agrupación de las medidas preventivas en sus diferentes categorías: Elaboración del Plan de Mantenimiento, lista de mejoras, planes de formación, procedimientos de operación y de mantenimiento, lista de repuesto que debe permanecer en stock y medidas provisionales a adoptar en caso de fallo.
9. Puesta en marcha de las medidas preventivas.
10. Evaluación de las medidas adoptadas, mediante la valoración de los indicadores seleccionados en la fase 1.

#### **1.4.8. Máquinas troqueladoras.**

Es una máquina de la familia de las prensas que corta material en una forma específica, por medio de patrones denominados matrices, los cortes realizados por una troqueladora son nítidos y precisos; además, no requieren ninguna habilidad. Todo lo que tiene que hacer el operario es colocar el material en la máquina y presionarlo, por acción mecánica. Una de las grandes ventajas de las máquinas troqueladoras es que

ahorra una enorme cantidad de tiempo y se pueden realizar un sinnúmero de formas y figuras en los cortes dependiendo del diseño planteado en las matrices. Por lo general este tipo de maquinaria se lo utiliza para la producción en serie [17] en la Figura 2 se observa una prensa troqueladora mecánica.



**Figura 2:** Máquina troqueladora mecánica de 45 toneladas.

**Fuente:** [17]

### **Clasificación.**

Generalmente existen dos grandes clasificaciones que se definen por la fuente de fuerza que utilizan, siendo mecánicas, neumáticas e hidráulicas.

### **Troqueladora mecánica plana.**

Se compone de una base rígida y un mecanismo que multiplica la fuerza ejercida por un motor de alta potencia, es el tipo de troqueladora que más se utiliza debido a su versatilidad y facilidad de operación y mantenimiento, son ideales para procesos donde las producciones son relativamente pequeñas implican costos de operación bajos, en la Figura 1 se aprecia una troqueladora mecánica de 45 toneladas ampliamente usada en la industria de chapa metálica.[17]

### **Troqueladoras rotativas.**

Se componen de un troquel cilíndrico y una prensa rotativa, además cuentan con áreas denominadas estaciones donde el material es transportado y cortado por una matriz rotativa montada en una prensa de rodillos. Una de las grandes ventajas en su uso es que pueden contar con múltiples estaciones lo que aumenta la eficiencia y permite distintas operaciones de troquelado [17]. En la Figura 3 se aprecia una máquina de este tipo.



**Figura 3:** Máquina troqueladora rotativa.

**Fuente:** [17]

### **Troqueladoras hidráulicas.**

Tienen el mismo principio de funcionamiento de las troqueladoras convencionales planas, la diferencia es La fuente de la fuerza que por lo general proviene de un cilindro hidráulico de gran tamaño, son aplicadas en industrias donde se requieren cortar o embutir materiales con un espesor considerable y en producción de elementos de gran tamaño, se observa a detalle en la Figura 4.



**Figura 4:** Máquina troqueladora hidráulica de 250 toneladas.

**Fuente:** [17]

Las tres clasificaciones anteriores son las más utilizadas en la producción industrial por ello es importante hacer énfasis en estos tipos, sin embargo, existen otras clasificaciones que están más relacionadas con el tipo de material que se corta y sus aplicaciones, las troqueladoras son máquinas muy versátiles con las que se puede cortar, grabar y embutir materiales como papel, cuero, chapa metálica, polímeros, entre otros.[17]

#### 1.4.9. Análisis de modos y efectos de fallo (AMFE)

En el mantenimiento basado en RCM las herramientas AMFE se consideran de gran utilidad ya que su principal función es su detallada identificación, evaluación y prevención de los posibles fallos que se puedan presentar en maquinarias y equipos propios de las industrias [18].

La finalidad de este análisis es calcular un número prioritario de riesgo que está en función de todas las causas de los fallos que se presentan, determinando un rango de aceptabilidad para cada sistema o subsistema, lo que dictamina las tareas y actividades a desarrollar en el RCM [18].

Esta metodología también involucra las jerarquías de cada activo fijo y también evalúa criterios de frecuencia, impacto operacional, impacto en el bienestar de los operarios y el personal involucrado en el mantenimiento, los resultados de este análisis son ordenados jerárquicamente de mayor a menor lo que facilita establecer las prioridades de actuación [18].

##### 1.4.9.1. Número prioritario de riesgo.

Es un valor que instituye una jerarquización de las fallas a través del producto del grado de ocurrencia, severidad y detección, este indicador muestra la prioridad con la que debe tomarse en cuenta cada modo de falla, (Ver Figura 5) identificando ítems críticos; lo que conlleva a dar prioridad a los componentes, sistemas y subsistemas donde encontramos NPR'S más altos, optimizando las tareas de mantenimiento [19].



**Figura 5:** Esquematización del número prioritario de riesgo.

**Fuente:** [19].

**Gravedad (G):** Es el nivel de daño que es percibido por el usuario del equipo en análisis, en este caso se toma en cuenta el daño máximo esperado [16].

**Ocurrencia (O):** También se le conoce como la frecuencia y mide la repetitividad potencial u ocurrencia del fallo que se está analizando, es la probabilidad de ocurrencia [16].

**Detectabilidad (D):** Es el nivel de detección de los fallos, en ocasiones puede ser perceptible y evidente, mientras que en otro tipo de equipos no se puede determinar el fallo sino hasta que afecta el producto final [16].

El número prioritario de riesgo se calcula en base a la interacción de estos tres factores:

$$NPR = G * O * D \quad (\text{Ecuación 1})$$

El análisis de fallos se basa en el método de evaluación de riesgos FINE. En la Tabla 1 se muestran los criterios de evaluación de la gravedad del fallo, en este caso se emplea la definición de cliente para la persona o usuario final del producto fabricado o el destinatario / usuario del resultado del proceso [16].

**Tabla 1:** Clasificación de la gravedad del modo de fallo según la repercusión en el cliente / usuario [16].

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 no se dé cuenta del fallo.	1
Baja (Repercusiones irrelevantes, apenas perceptibles)	El tipo de fallo originaría un ligero inconveniente al cliente. El cliente observará 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 el 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 seguridad del producto o proceso y/o involucra seriamente el incumplimiento de normas reglamentarias. Si tales incumplimientos son graves corresponde un 10.	9 – 10

El análisis de la ocurrencia es de igual manera, un análisis subjetivo, sin embargo, se puede emplear datos estadísticos o históricos si la empresa los dispone. En la Tabla 2 se muestra los criterios de evaluación de la ocurrencia o frecuencia.

**Tabla 2:** Clasificación de la frecuencia / ocurrencia del modo de fallo [16].

Ocurrencia	Criterio	Valor
Muy baja / Improbable	Ningún fallo se asocia a procesos casi idénticos, ni se ha dado nunca en el pasado, sin embargo, es concebible.	1
Baja	Fallos aislados en procesos similares o casi idénticos. Es razonablemente esperable en la vida del sistema, aunque 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

El nivel de detectabilidad del fallo se determina en base a los parámetros de la Tabla 3 y es la probabilidad de que la causa o modo de fallo que pueda aparecer en un equipo o sistema sea detectado con antelación para prevenir o evitar daños. En este caso, cuanto menor sea la capacidad de detección, mayor será el valor asignado a la detectabilidad.

**Tabla 3:** Clasificación de la facilidad de detección del modo de fallo [16].

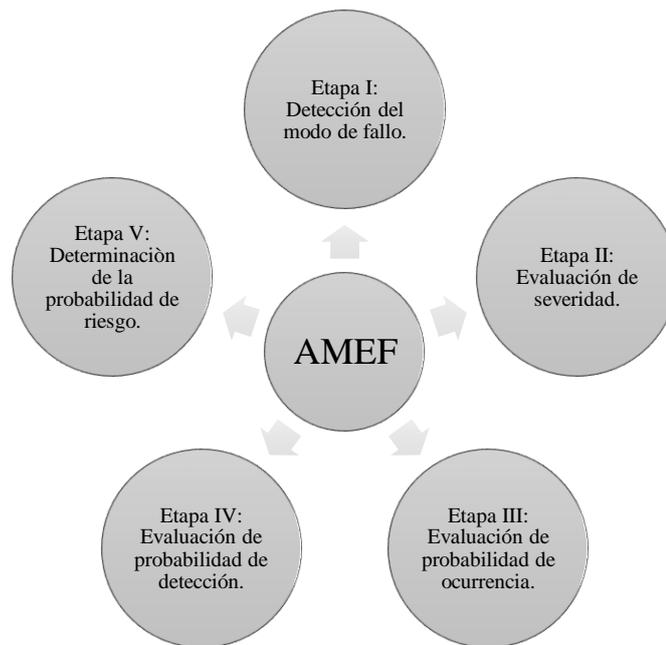
Detectabilidad	Criterio	Valor
Muy alta	El defecto es obvio. Resulta muy improbable que no sea detectado por los controles existentes.	1
Alta	El defecto, aunque es obvio y fácilmente detectable, podría en alguna ocasión escapar a un primer control, aunque sería detectado con toda seguridad a posteriori.	2 – 3
Mediana	El defecto es detectable y posiblemente no llegue al cliente. Posiblemente se detecte en las últimas etapas de producción.	4 – 6
Pequeña	El defecto es de 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

Una vez determinado el valor para cada factor expuesto en las Tablas 1 al 3 se determina el Número Prioritario de riesgo al multiplicar los tres factores. El análisis se

efectúa para cada fallo del equipo o sistema en estudio. De los valores numéricos obtenidos en el análisis, se puede determinar lo siguiente:

NPR < 100: No requiere intervención, salvo que la mejora contribuya en la calidad del producto, proceso o trabajo.

NPR > 100: Requiere intervención en el sistema o equipo.



**Figura 6:** Metodología AMFE en mantenimiento basado en RCM.

**Fuente:**[18]

En la Figura 6 se presentan las cinco etapas de análisis de fallos basado en la metodología AMFE para el mantenimiento basado en RCM.

## **1.5.Fundamentación Legal.**

### **1.5.1. Norma SAE JA1011.**

**Alcance:** La norma está destinado para el uso de las organizaciones que requieren mantener y administrar sistemas y equipos de manera responsable [20].

**Propósito:** Identificar políticas que deben implementarse en la organización para gestionar los modos de falla de un sistema o equipo. La metodología descrita en la normativa permite evaluar procesos para determinar si se puede implementar un plan de mantenimiento RCM mediante un diagnóstico de criterios mínimos [20].

Contenidos de la normativa [20]:

- Funciones del sistema o equipo
- Fallas funcionales
- Modos de fallo
- Efectos de los fallos
- Categorías de consecuencias de fallos
- Selección de políticas de gestión de fallos
- Políticas de gestión de fallos: tareas programadas
- Políticas de gestión de fallos: cambios únicos y ejecución hasta el fallo
- Programa de vida del sistema o equipo

### 1.5.2. NTP 331: Fiabilidad, distribución de Weibull

**Objetivo:** La nota técnica brinda un tipo de distribución estadística que se puede aplicar en el estudio de fiabilidad de problemas relacionados con la fatiga y vida útil de componentes y materiales. El producto del análisis permite conocer la tasa de fallos variable [21].

La distribución de Weibull permite estudiar la distribución de fallos de un componente a través de un registro de fallos que varía a través del tiempo y dentro del tiempo de vida útil. La herramienta brinda la posibilidad de predecir comportamientos [21].

La tasa de fallos viene dada por la siguiente fórmula:

(Ecuación 2)

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

Donde:

$\lambda(t)$ : Tasa de fallos

$R(t)$ : Fiabilidad

(Ecuación 3)

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

Donde:

(*t*): Tiempo

En la nota técnica se describen de forma más específica la metodología de cálculo en función del tiempo y el parámetro de escala o vida característica [21].

### **1.5.3. NTP 679: Análisis modal de fallos y efectos. AMFE**

**Objetivo:** Es una herramienta empleada dentro del campo de la calidad para exponer el método de análisis modal de fallos y efectos de elementos clave de procesos o productos a través de la interacción de factores como la Ocurrencia, Gravedad y Detectabilidad mediante el Número Prioritario de Riesgo que se basa en el análisis de riesgos por el método FINE [16].

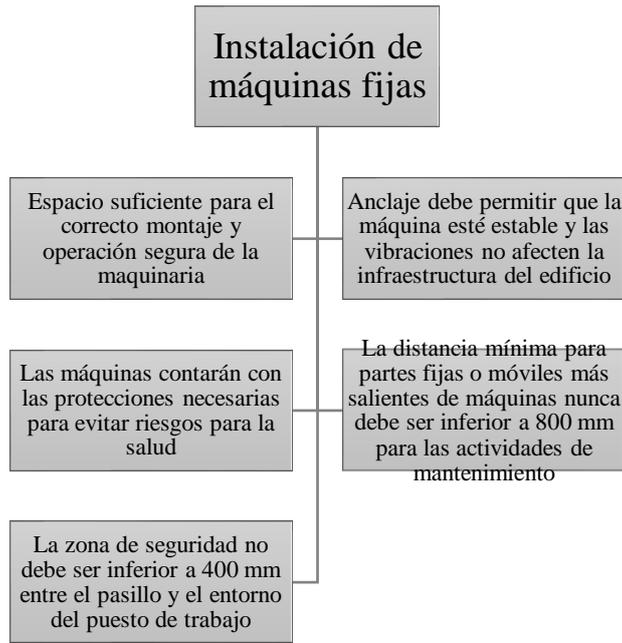
### **1.5.4. Decreto Ejecutivo 2393.**

A continuación, se presentan los apartados del documento legal relacionados con el mantenimiento de los equipos planteados en este estudio [22].

En el Decreto Ejecutivo se señalan algunas de las obligaciones de los empleadores con respecto al uso de maquinaria, por ejemplo, adoptar medidas necesarias para la prevención de riesgos en el lugar de trabajo. Dentro de las obligaciones también se establece que la maquinaria y las instalaciones deben mantenerse en buen estado [22].

Dentro de la cláusula referente a los ruidos y vibraciones, también se determina que el máximo nivel de presión sonora es de 85 dB, para todo ello es necesario brindar adecuado mantenimiento a los sistemas y equipos de las áreas de trabajo de producción [22].

En la sección de aparatos, máquinas y herramientas se establece lo detallado en el diagrama de la Figura 7.



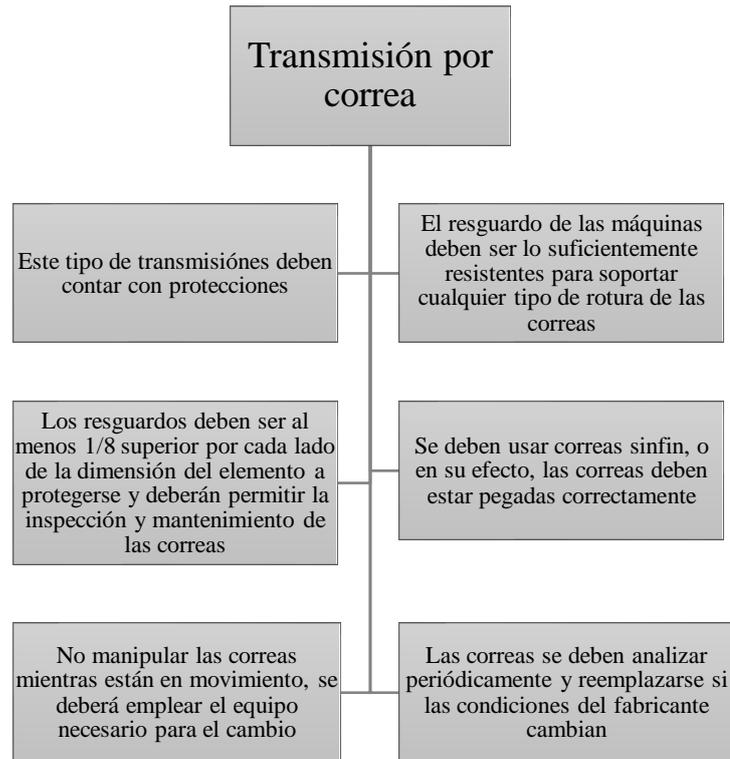
**Figura 7:** Consideraciones para la instalación máquinas fijas

**Fuente:** [22]

Los materiales y suministros de las máquinas se deben almacenar junto a las máquinas en armarios o estantes adecuados para evitar que sean un obstáculo para los operarios, ni para la manipulación y espacios seguros de la máquina [22].

Las protecciones de las máquinas fijas que cuenten con elementos de transmisión, partes fijas y móviles que puedan ser agresivos por acción atrapante, cortante, lacerante, punzante, deben ser protegidos mediante resguardos y dispositivos de seguridad, los mismos que deben permanecer en las máquinas, únicamente podrán retirarse cuando se efectúen las actividades de mantenimiento [22].

En las máquinas de transmisión por correa, se debe tomar en cuenta lo estipulado en la Figura 8.



**Figura 8:** Consideraciones para las transmisiones por correas

**Fuente:** [22]

En las máquinas fijas se debe proveer mecanismos de mando para la puesta en marcha o parada, los interruptores de los mandos deber estar colocados e identificados para que resulte difícil el accionamiento involuntario. Los pulsadores de parada deben ser accesibles para cualquier punto del puesto de trabajo. Cuando las máquinas poseen pedales, deberán ser de las dimensiones apropiadas al ancho del pie, contar con una cubierta protectora para impedir accionamientos involuntarios y convenientemente señalizados y ubicados [22].

El mantenimiento de la maquinaria debe ser preventivo y programado, cumpliendo con todas las actividades previstas por el fabricante para asegurar un buen funcionamiento de estas. Previo a cada actividad de mantenimiento se deben tomar las debidas precauciones para imposibilitar la puesta en marcha [22].

## **CAPÍTULO II METODOLOGÍA**

### **2.1. Materiales y recursos**

#### **2.1.1. Recursos**

Para la ejecución del proyecto se utilizarán los siguientes recursos:

#### **2.1.2. Recursos humanos:**

Christopher Punguil – Autor del proyecto técnico

Ing. Christian Castro – Docente tutor

Personal técnico y administrativo de “Halley Corporación C.L”

#### **2.1.3. Recursos materiales:**

Se describen los medios físicos que se utilizarán para llevar a cabo el trabajo y el análisis de los datos obtenidos.

- Computador
- Celular con acceso a internet y aplicaciones
- Instrumentos normalizados de medición
- Impresora
- Registros de datos
- Software especializado
- Matrices AMFE

#### **2.1.4. Recursos Institucionales:**

Instalaciones, equipo y maquinaria de la empresa “Halley Corporación C.L”

Docente tutor Ing. Christian Castro de la Universidad Técnica de Ambato

Personal administrativo de la Universidad Técnica de Ambato

#### **2.1.5. Recursos Económicos:**

El presupuesto para la ejecución del proyecto fue de 1500 dólares lo que incluye gastos de movilización, equipo de cómputo, impresión de documentos, etc.

## **2.2. Tipo de investigación y métodos**

Para la realización del presente proyecto de titulación primero se recolectó información útil de la maquinaria, conjuntamente con la metodología del mantenimiento basado en la fiabilidad RCM se identificaron los parámetros que se requieren para poder elaborar un plan de mantenimiento preventivo para la sección de troquelado, posteriormente se generó la matriz AMFE de criterios ponderados utilizando la nota técnica de prevención NTP 679, luego se determinó la fiabilidad mediante el empleo de la nota técnica de prevención NTP 331 en donde se indican los parámetros necesarios para poder elaborar la distribución de Weibull, todo esto conjuntamente con los diferentes métodos de investigación que se aplicaron en el proyecto, se obtuvo un producto final plan de mantenimiento preventivo.

### **2.2.1. Investigación exploratoria**

Se aplicó este tipo de investigación debido a que su aplicación permitió conocer inicialmente todos los parámetros que influyen en el desempeño de los equipos del área de troquelado de la empresa “Halley Corporación C.L”, así como los modos de fallo además de sus causas y consecuencias.

### **2.2.2. Investigación descriptiva**

En este trabajo experimental es descriptivo por la naturaleza de la información que brinda una visión general del estado actual de los equipos, sus características y sus modos de fallo, los detalles con que se desarrolló el plan de mantenimiento permiten su aplicabilidad dentro de la empresa.

### **2.2.3. Investigación aplicada**

En la ejecución de este proyecto se aplicaron los conocimientos y la información obtenida en la formación académica de la carrera, con el objetivo de poder construir un plan de mantenimiento preventivo basado en la fiabilidad con la metodología RCM para las máquinas de la sección de troquelado de la empresa “Halley Corporación C.L”, para así poder reducir las fallas o paradas imprevistas que se generan en la empresa y a la vez que se mantenga la producción en su mayor capacidad.

#### **2.2.4. Investigación de campo**

Se aplicó este tipo de investigación por la necesidad de acudir directamente a las instalaciones de “Halley Corporación C.L” en donde se recolectó la información necesaria para el desarrollo del proyecto, como las características de las máquinas y la detección de problemas y los elementos principales de cada una.

#### **2.2.5. Mantenimiento basado en confiabilidad RCM**

Bajo la normativa SAE J1011 se implementa la metodología de análisis de la información referente al mantenimiento. El proceso se compone de la descripción de las funciones de los equipos, fallas funcionales, modos de fallo, efectos de los fallos, categorías de la consecuencia de los fallos. Elaboración de políticas y el plan de mantenimiento del equipo.

### **2.3. Técnicas e instrumentos de investigación**

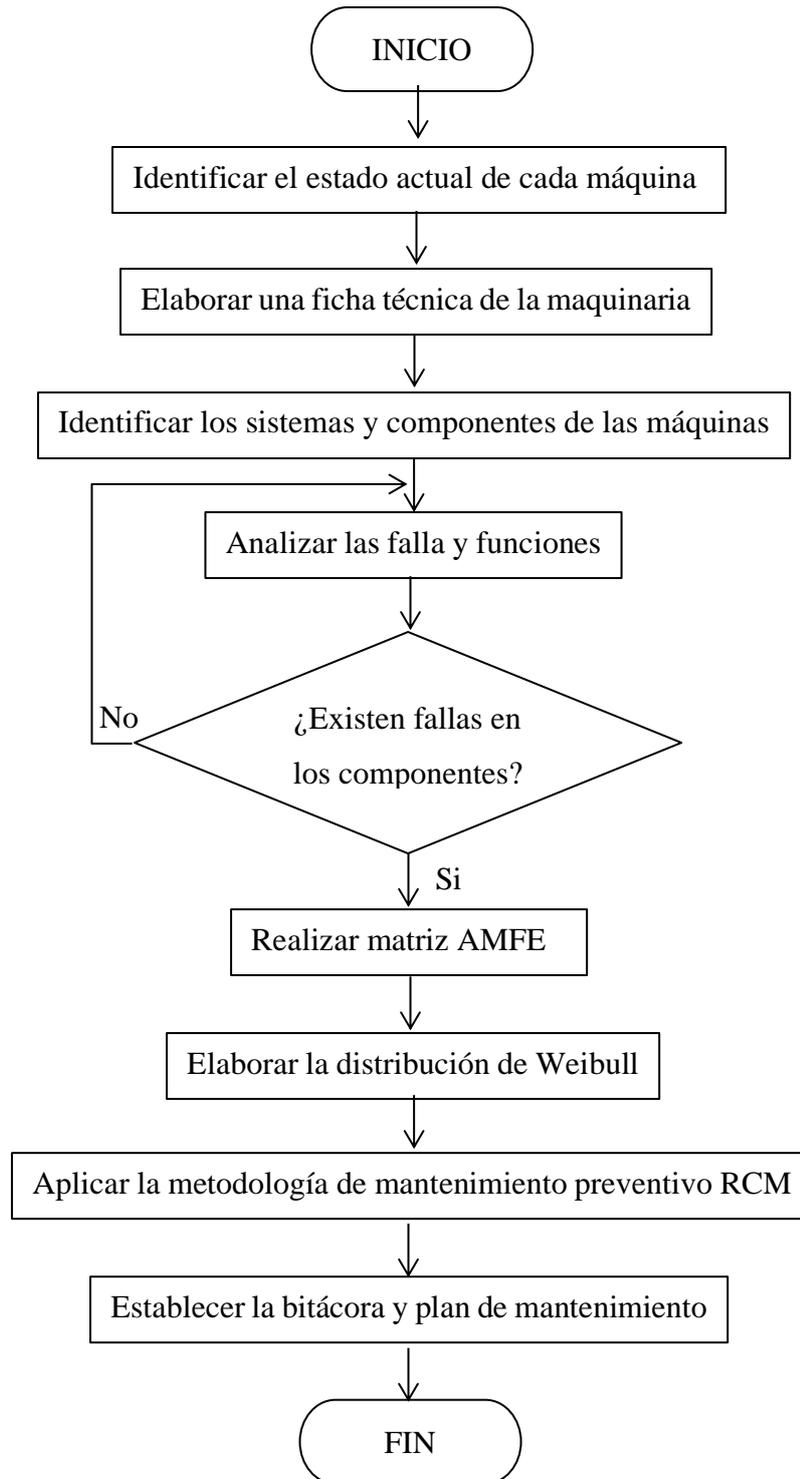
#### **2.3.1. Búsqueda bibliográfica**

Esta técnica de búsqueda de información permitió conocer cómo se ha llevado a cabo la aplicación de la metodología de mantenimiento RCM en otras empresas de manufactura, y las herramientas necesarias para el análisis de la información de mantenimiento. Las fuentes de información provinieron de artículos científicos, tesis, normativas, notas técnicas y fichas de las máquinas analizadas.

#### **2.3.2. Observación directa**

Con esta técnica se pudo evidenciar de forma clara las máquinas del área de troquelado de la empresa “Halley Corporación C.L” para lo cual se registró la información en fichas de observación para su análisis.

#### 2.4. Diagrama de flujo para el desarrollo del proyecto.



**Figura 9:** Diagrama de flujo del análisis de mantenimiento basado en RCM

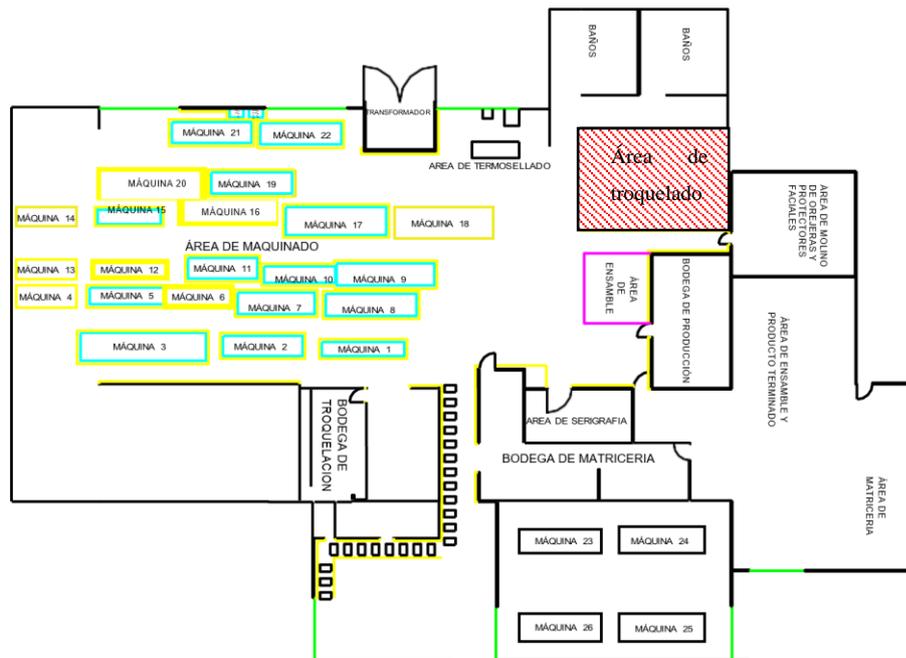
## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

#### 3.1. Análisis y discusión de los resultados

##### 3.1.1. Funciones del sistema o equipo

El área de troquelado de la empresa “Halley Corporación C.L” se encuentra distribuida de la siguiente manera:



**Figura 10:** Esquema de ubicación de las máquinas

Los artículos que se cortan en la zona sirven para el ensamblaje de diferentes tipos de artículos, puesto que la empresa se dedica a la fabricación de implementos de seguridad como cascos, orejeras, gafas, etc. Los materiales que se troquelean en el área son muy diversos, sin embargo, especialmente se maneja la producción en polímeros.

El área de troquelado comprende la sección sombreada con líneas diagonales de color rojo en la Figura 10, en esta sección existen troqueladoras hidráulicas, mecánicas, cortadora de simbra, selladora de alta frecuencia y túnel termoencogedor.

Las tareas principales que se efectúan en el área de troquelado son corte, termosellado, sellado, y troquelado.

### 3.1.2. Inventario de las máquinas del área de troquelado

**Tabla 4:** Inventario de máquinas del área de troquelado.

	<b>HALLEY CORPORACIÓN C.L</b>		
	<b>MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b>		
	<b>INVENTARIO DE MÁQUINAS</b>		
	<b>ELABORADO POR:</b>	<b>FECHA ELABORACIÓN:</b>	<b>CÓDIGO:</b>
	Christopher Punguil	4/2/2022	IM-HC-001
	<b>REVISADO POR:</b>	<b>FECHA DE REVISIÓN:</b>	<b>VERSIÓN:</b>
Ing. Christian Castro	16/2/2022	1.0	
<b>ÁREA DE TROQUELACIÓN</b>			
<b>Nombre de la máquina</b>	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>Codificación</b>
Troqueladora Hidráulica #1	ATOM	G999 sab	MNT-TRO-001
Troqueladora Hidráulica #2	ATOM	S120	MNT-TRO-002
Troqueladora Hidráulica #3	ATOM	S120	MNT-TRO-003
Troqueladora Hidráulica #4	ATOM	S120	MNT-TRO-004
Troqueladora Hidráulica #5	ATOM	BS920	MNT-TRO-005
Troqueladora Hidráulica #6	ATOM	BS920	MNT-TRO-006
Troqueladora O.ME.C	OMEC	S120C	MNT-TRO-007
Troqueladora de seguros	.....	.....	MNT-TRO-008
Troqueladora WEG	WEG	EMF-283	MNT-TRO-009
Troqueladora #1 ALTOR	AITOR	JMM	MNT-TRO-011
Cortadora de Simbra	....	.....	MNT-COR-001
Tunel Termoencogedor	ECUAPACK	BS4525A	MNT-TS-004
Selladora Altafrecuencia	SEEMSA	MANUFACT	MNT-AFRE-001

Para conocer las especificaciones, componentes y los parámetros de cada máquina es necesario desarrollar dossier para cada máquina, en donde encontraremos parámetros de funcionamiento, condición de la máquina, componentes, modos de operación y funciones, para garantizar que las tareas de mantenimiento se lleven a cabo de manera adecuada garantizando que todos los sistemas de cada máquina funcionen correctamente.

### 3.1.3. Dossier de mantenimiento de las máquinas de la empresa



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica  
Carrera de Ingeniería Mecánica



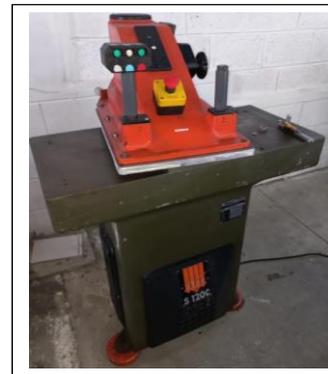
#### DOSSIER DE MANTENIMIENTO Área de troquelado



**Máquina:** Troqueladora Hidráulica  
**Código de la empresa:** MNT-TRO-002  
**Página:** 1

#### Características Generales

**Marca:** ATOM  
**Modelo:** S120C  
**Serie:** 17A060855  
**Potencia:** 380 kW  
**Procedencia:** España  
**Voltaje:** 220V  
**Dimensiones de la máquina:** 900x870x1400 mm  
**Mesa de corte:** 900x430 mm  
**Ancho del brazo giratorio:** 370 mm  
**Mecanismo de accionamiento:** Hidráulico  
**Condiciones del aceite:** 3,5° - 4° ISO46  
**Peso neto con aceite:** 630 kg



#### Componentes de la máquina

##### Botones:

Selector de potencia  
Regulador de la fuerza según el tamaño de los troqueles de corte  
Botones de seguridad  
Accionador de la máquina

Base de hierro fundido  
Brazo giratorio  
Volante para regulación del brazo giratorio

##### Componentes de funcionamiento hidráulico:

Motor de la bomba  
Interruptor general  
Pistón  
Válvulas  
Enchufe de corriente  
Contacto y microinterruptor del final de carrera  
Cubierta lateral  
Tornillo para descarga de aceite

#### Función de la máquina

Cortar diferentes materiales con diversas formas de acuerdo a la necesidad requerida sin generar viruta.



DOSSIER DE MANTENIMIENTO  
Área de troquelado



**Máquina:** Troqueladora Hidráulica  
**Código de la empresa:** MNT-TRO-002  
**Página:** 2

**Condiciones de servicio**

---

La instalación en una zona plana, el piso debe soportar las condiciones de carga por el peso de la máquina  
Corte de materiales como esponja y cuero  
Sistema de autolubricación  
Manejo y accionamiento manual con sistema hidráulico  
Empleo de la máquina con las dos manos

**Instructivo de uso de la máquina**

---

**Accionamiento del corte**

Posicionamiento del material en la mesa de trabajo  
Accionamiento del brazo giratorio  
Posicionamiento del troquel de corte  
Posicionamiento del brazo giratorio en la zona de corte  
Accionamiento de la fuerza de corte

**Conexión de la máquina sin aceite**

Emplear un aceite de buena calidad de 3,5° a 4° ISO46, para el llenado del depósito se requieren 45 Kg .  
Verter el aceite en el depósito hasta la marca roja que corresponde al nivel máximo  
Bloquear la leva n° 4 desplazandola hacia la izquierda para dejarla en posición del final de carrera  
Conectar el motor, girar el volante de derecha a izquierda hasta su parada  
Accionar la máquina, en un principio se desplazará el máximo recorrido hasta el aire contenido en los tubos y cilindros salga completamente  
Regular el volante hasta que la bandera de aplicación de carga se encuentre a 5 mm de la mesa de trabajo  
Verificar el nivel de aceite y completarlo hasta la marca de ser necesario

**Condiciones de seguridad para el uso de la máquina**

---

Accionar la máquina con las dos manos en los soportes de control para evitar lesiones



Protección respiratoria

Protección de los pies



Protección ocular



Protección del cuerpo



**DOSSIER DE MANTENIMIENTO**  
**Área de troquelado**



**Máquina:** Prensa troqueladora mecánica  
**Código de la empresa:** MNT-TRO-011  
**Página:** 1

---

**Características Generales**

**Marca:** AIROR  
**Modelo:** JMM  
**Serie:** 918  
**Potencia:** 30000 Kg  
**Procedencia:** España  
**Voltaje:** 220V  
**Dimensiones de la máquina:** 900X950X1900  
**Mecanismo de accionamiento:** Mecánico



---

**Componentes de la máquina**

Sistema de poleas  
Protector del volante  
Freno  
Ajuste manual de la altura del troquel  
Mesa de trabajo  
Panel de accionamiento  
Cigüeñal  
Pedal  
Sistema de lubricación manual  
Motor

---

**Función de la máquina**

Cortar diferentes materiales con diversas formas de acuerdo a la necesidad requerida sin generar viruta.

---

**Condiciones de servicio**

La instalación en una zona plana,  
el piso debe soportar las  
condiciones de carga por el peso  
de la máquina  
Corte de materiales como esponja y cuero  
Sistema de lubricación con accionamiento manual  
Accionamiento mecánico con pedal  
Regulador de altura de troquel manual



DOSSIER DE MANTENIMIENTO  
Área de troquelado



**Máquina:** Prensa troqueladora mecánica  
**Código de la empresa:** MNT-TRO-011  
**Página:** 2

**Instructivo de uso de la máquina**

**Accionamiento del corte**

Posicionamiento del material en la mesa de trabajo  
Encendido del sistema de poleas o volante mediante los botones de accionamiento  
Posicionamiento del troquel de corte  
Regulación de la distancia o carrera de la prensa  
Accionamiento de la fuerza de corte mediante el pedal - cigüeñal

**Conexión de la máquina**

La única fuente de fuerza y movimiento proviene del sistema de poleas accionado por el motor eléctrico que debe ser conectado a la toma de energía de 220 V  
El movimiento de aplicación de fuerza de la prensa es mecánico, se activa con el pedal que a través de un soporte enclava y desenclava el cigüeñal, en donde se aloja prensa de aplicación de fuerza  
El sistema de lubricación es manual, se acciona mediante una palanca y se distribuye el lubricante mediante un sistema de cañerías que lo dirigen a diferentes puntos de la máquina  
El ajuste de la carrera de la prensa es manual y se requiere de herramientas manuales para el ajuste de los componentes de la máquina

**Condiciones de seguridad para el uso de la máquina**

Accionar la máquina con las dos manos en los soportes de control para evitar lesiones





DOSSIER DE MANTENIMIENTO  
Área de troquelado



**Máquina:** Túnel termoencogedor  
**Código de la empresa:** MNT-TS-005  
**Página:** 1

Características Generales

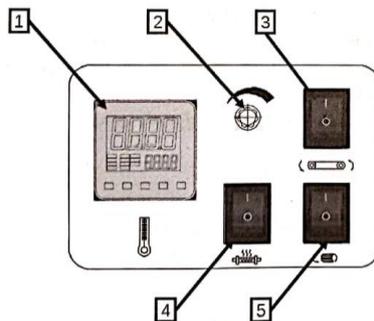
**Marca:** ECUA PACK  
**Modelo:** BS 4525A  
**Serie:** 1632113080100  
**Potencia:** 6500 kW  
**Procedencia:** Ecuador  
**Voltaje:** 220V  
**Dimensiones de la máquina:** 2700x1700x2000  
**Velocidad del transportador:** 0 - 10 m/min  
**Temperatura máxima de la cámara:** 280 °C  
**Tamaño del túnel:** 1200x650x350  
**Materiales permitidos:** PVC, PE, POF  
**Peso neto con aceite:** 150 kg



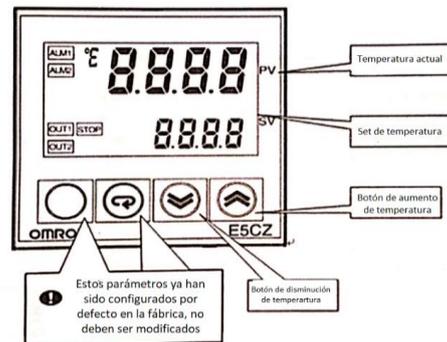
Componentes de la máquina

Botones:

Regulador de temperatura  
Regulador de velocidad de avance del transportador  
Panel de visualización



1. Controlador de temperatura
2. Mando de control de avance del transportador
3. Switch de encendido / apagado del transportador
4. Switch de encendido / apagado de las niquelinas
5. Switch de encendido / apagado de los ventiladores



Componentes de la máquina

Túnel de contracción  
Cuerpo del túnel  
Transportador  
Soporte  
Caja de control  
Niquelinas  
Ventiladores  
Motor de accionamiento del transportador  
Sistema de piñones y cadenas



**DOSSIER DE MANTENIMIENTO**  
**Área de troquelado**



**Máquina:** Túnel termoencogedor  
**Código de la empresa:** MNT-TS-005  
**Página:** 2

---

**Función de la máquina**

Sellar empaques de productos con una cámara de aire caliente de temperatura ajustable para el proceso de termoencogido con la ayuda de un transportador interno de velocidad ajustable.

---

**Condiciones de servicio**

Altura del túnel ajustable de 50 a 350 mm  
La temperatura de trabajo es ajustable hasta 280°C  
La velocidad del transportador es ajustable hasta 10 m/min

---

**Instructivo de uso de la máquina**

**Accionamiento de la máquina**

Encender el interruptor de calentamiento y de la cinta transportadora para poner en marcha la máquina  
La velocidad de transporte debe ajustarse en función de la línea de producción  
Una vez ajustada la temperatura de la máquina se deben colocar los artículos en el transportador  
Para garantizar un efecto de contracción del material adecuado se debe ajustar la temperatura, o a su vez, la velocidad del transportador

---

**Condiciones de seguridad para el uso de la máquina**

Accionar la máquina con las dos manos en los soportes de control para evitar lesiones





**DOSSIER DE MANTENIMIENTO**  
**Área de troquelado**



**Máquina:** Selladora de alta frecuencia  
**Código de la empresa:** MNT-AFRE-001  
**Página:** 1

**Características Generales**

**Marca:** SEEMSA  
**Modelo:** MANUFACT  
**Serie:** 77148  
**Potencia:** 6,7 kW  
**Procedencia:** Ecuador  
**Voltaje:** 220V  
**Dimensiones de la máquina:** 1200x700x100  
**Bandeja:** 67x100 mm  
**Control:** Electrónico  
**Frecuencia de trabajo:** 27,12 MHz



**Componentes de la máquina**

Componentes del generador de radio frecuencia  
Tubo oscilador  
Cavidad resonante  
Sistema de sintonía

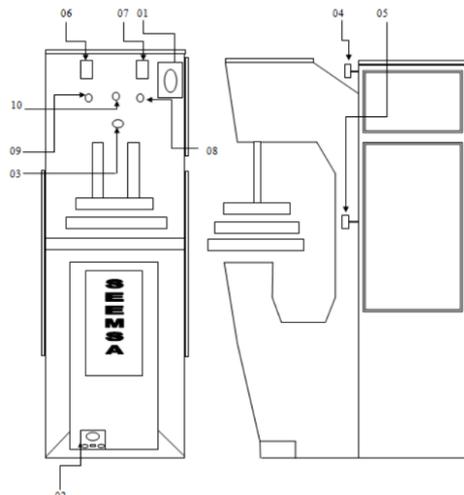
Componentes de la prensa  
Estructura de la prensa  
Accionamiento neumático  
Cabezal guía  
Placa soporte  
Sistema de nivelación  
Mesa de trabajo

Componentes del accionamiento neumático  
Electroválvula (5 vías dos posiciones)  
Unidad de mantenimiento  
Cilindro neumático

Componentes del cabezar guía  
Ejes guía  
Bocines  
Tope mecánico de bajada

Componentes del sistema de nivelación  
Tornillos de nivelación  
Placa porta electrodos

Componentes del tablero de control



1. Control de potencia
2. Control de sintonía
3. Temporizador de bajada
4. Temporizador de sellado
5. Piloto de potencia
6. Piloto de filamento
7. Piloto de corta arcos



**DOSSIER DE MANTENIMIENTO**  
**Área de troquelado**



**Máquina:** Selladora de alta frecuencia  
**Código de la empresa:** MNT-AFRE-001  
**Página:** 2

---

**Función de la máquina**

Unir telas plásticas sin la necesidad de utilizar un pegamento, emplea el calentamiento de ultrasonido para fusionar los materiales bajo diferentes geometrías con el uso de moldes.

---

**Condiciones de servicio**

La máquina permite el manejo de materiales de grandes extensiones, cuenta con el equipo eléctrico desmontable según el nivel de producción de la empresa.  
La programación de la máquina cuenta con una etapa de enfriamiento  
El regulador de potencia permite diversas aplicaciones de sellado según el tipo de producción

---

**Instructivo de uso de la máquina**

**Funcionamiento de la máquina**

Conexión directa de la máquina a la fuente de energía de 220V  
Verificar la conexión a la fuente de aire para el accionamiento del pistón  
Verificar los parámetros de sellado en el tablero de control  
Posicionar el material en la mesa de trabajo, así también, posicionar el patrón de sellado y oprimir el botón de accionamiento del cilindro neumático para que baje el sistema de nivelación

---

**Condiciones de seguridad para el uso de la máquina**

Accionar la máquina con las dos manos en los soportes de control para evitar lesiones



Protección respiratoria

Protección de los pies



Protección ocular



Protección del cuerpo



**DOSSIER DE MANTENIMIENTO**  
**Área de troquelado**



**Máquina:** Cortadora de simbra  
**Código de la empresa:** MNT-COR-001  
**Página:** 1

**Características Generales**

---

Marca: -  
Modelo: -  
Serie: -  
Potencia: -  
Procedencia: -  
Voltaje: -  
Dimensiones de la máquina: 900x1000x1200  
Presión del aire comprimido: -  
Tipo de accionamiento neumático: -



**Componentes de la máquina**

---

Sistema mecánico  
Poleas  
Engranajes  
Bandas de transmisión  
Ejes de transmisión  
Motor eléctrico

Sistema Neumático  
Actuador neumático  
Electroválvula  
Unidad de mantenimiento  
Suministro de aire comprimido

Sistema de alimentación de alambre

**Función de la máquina**

---

Fabricar muelles de manera continua con suministro de alambre.



DOSSIER DE MANTENIMIENTO  
Área de troquelado



**Máquina:** Cortadora de simbra  
**Código de la empresa:** MNT-COR-001  
**Página:** 2

---

**Condiciones de servicio**

La máquina permite la fabricación de muelles en alambres de diferentes diámetros, se pueden elaborar muelles de compresión, tracción, binchas, etc. El sistema trabaja de forma continua combinando el movimiento de mecanismos, sistemas de transmisión de potencia y el movimiento lineal mediante el sistema neumático.  
Una vez puesta en marcha la máquina, no requiere supervisión debido a que cuenta con un sistema de suministro de alambre de forma continua.

---

**Instructivo de uso de la máquina**

**Colocación del alambre**

Verificar que no existan secciones del alambre con deformaciones o partes enredadas.  
Colocar el alambre en el soporte de alimentación.  
Pasar un extremo del alambre por las guías de direccionamiento al mecanismo.

**Accionamiento neumático**

Abrir el suministro de aire comprimido  
Verificar la presión del aire

**Accionamiento mecánico**

Conectar el motor eléctrico a la fuente de energía  
Posicionar el mecanismo para el diámetro y paso del muelle deseado  
Presionar la botonera para el encendido de la máquina

---

**Condiciones de seguridad para el uso de la máquina**

Accionar la máquina con las dos manos en los soportes de control para evitar lesiones



### 3.1.4. Modos de fallo y efectos de fallo de las máquinas del área de troquelado. Matriz AMFE ver Anexo (NTP 679)



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica**  
**Carrera de Ingeniería Mecánica**  
**Análisis de modos de fallo y efectos de fallo**



<b>Nombre del Sistema (Título):</b>	Sistema de aplicación de carga	<b>Fecha</b>	2/9/2022
<b>Responsable (Dpto. / Área):</b>	Área de troquelado	<b>Versión</b>	1
<b>Responsable de AMFE (persona):</b>	Christopher Punguil	<b>Dossier</b>	MNT-TRO-002

Función o Componente del Servicio	Modo de Fallo	Efecto	Causas	G gravedad	O ocurrencia	D detección	NPR	Acciones recomendadas
Mesa de trabajo de hierro fundido	Desnivel	Cortes inexactos	Piso a desnivel / Desgaste de la mesa de trabajo	8	2	1	16	Nivelar la máquina / Colocar un material de protección para la mesa de corte
	Ranuras o discontinuidades	Cortes inexactos	Desgaste de los componentes del mecanismo de regulación	8	2	1	16	Colocar un material de protección para la mesa de corte
Brazo giratorio	Atascos en el movimiento giratorio de la prensa	Sobreesfuerzo en la manipulación	Lubricación inadecuada	2	2	1	4	Aplicar lubricación localizada en el mecanismo de rotación
	Inmovilidad en sentido giratorio de la prensa	No se puede liberar la zona de trabajo para la inserción de los troqueles	Interferencias en elementos del eje y rodamientos	8	2	3	48	Abrir la caja de mando para verificar el estado de los elementos
	Atascos en el movimiento ascendente y descendente de la prensa	No se puede aplicar la fuerza de corte en los elementos	Los pulsadores no envían la señal de accionamiento / problemas en la presión del sistema	9	2	5	90	Revisar la continuidad y las conexiones en los cables del pulsador
Volante para regulación del brazo giratorio	Defectuosa fijación	No se puede regular la distancia de aplicación de la fuerza	Desgaste de los componentes del mecanismo de regulación	9	2	1	18	Reemplazar los componentes del mecanismo que se encuentran defectuosos
	Desenclavamiento del sistema	No se puede fijar una posición del recorrido de la prensa	Desgaste de los componentes del mecanismo de regulación	8	2	2	32	Reemplazar los componentes del mecanismo que se encuentran defectuosos



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica**  
**Carrera de Ingeniería Mecánica**  
**Análisis de modos de fallo y efectos de fallo**



<b>Nombre del Sistema (Título):</b>	Sistema hidráulico	<b>Fecha</b>	2/9/2022
<b>Responsable (Dpto. / Área):</b>	Área de troquelado	<b>Versión</b>	1
<b>Responsable de AMFE (persona):</b>	Christopher Punguil	<b>Dossier</b>	MNT-TRO-002

Función o Componente del Servicio	Modo de Fallo	Efecto	Causas	G gravedad	O ocurrencia	D detección	NPR	Acciones recomendadas
Motor de la bomba de aceite	Insuficiente presión	El sistema no aplica la fuerza requerida para el corte	Impulsor dañado	9	2	7	126	Reemplazar los componentes del mecanismo que se encuentran defectuosos
	Sellos mecánicos defectuosos	Derrames de aceite	Desgaste en los sellos mecánicos	7	2	6	84	Reemplazar por un sello nuevo
	Juego excesivo en los cojinetes	Desequilibrio en el motor / generación de vibraciones	Desgaste de los cojinetes	7	2	6	84	Reemplazar los componentes del mecanismo que se encuentran defectuosos
Mangueras hidráulicas	Insuficiente presión	El sistema no aplica la fuerza requerida para el corte	Mangueras rotas o desconectadas	9	2	7	126	Reemplazar los componentes del sistema que se encuentran defectuosos
	Agrietamiento de las mangueras	Rigidez en la manguera, deficiente flujo del aceite	Sobrecalentamiento del aceite	6	2	3	36	Reemplazar los componentes del sistema que se encuentran defectuosos
Válvulas	No se acciona la aplicación de la fuerza de corte o arranque del cilindro	La prensa no desciende para cortar los materiales	No existe contacto entre la señal del pulsador y las válvulas	9	2	8	144	Verificar la continuidad en los cables y conexiones de la válvula
	Atascos en la válvula	No permite el libre flujo del aceite hacia el cilindro, no se ejerce la fuerza de corte apropiada	Suciedad o impurezas en el aceite	9	2	8	144	Reemplazar el filtro de aceite
	Cierre incompleto de la válvula	No se ejerce la presión necesaria para el recorrido del cilindro y aplicación de fuerza adecuada	Desgaste de los componentes de la válvula	9	2	8	144	Reemplazar la válvula
Cilindros hidráulicos	Pérdidas de presión	El desplazamiento del cilindro no se efectúa de manera satisfactoria	Empaques o sellos mecánicos defectuosos	9	2	9	162	Reemplazar por un sello nuevo
	Fugas de aceite	Disminución del fluido / insuficiente fuerza de corte	Grietas o agujeros en la camisa del cilindro	8	2	3	48	Reparar la camisa del cilindro
	Componentes del cilindro corroídos	Dificultad en el desplazamiento del cilindro	Suciedad, humedad o impurezas en el aceite	7	2	3	42	Cambiar el filtro de aceite / rectificar el cilindro



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica**  
**Carrera de Ingeniería Mecánica**  
**Análisis de modos de fallo y efectos de fallo**



<b>Nombre del Sistema (Título):</b>	Sistema de potencia y electrónico	<b>Fecha</b>	2/9/2022
<b>Responsable (Dpto. / Área):</b>	Área de troquelado	<b>Versión</b>	1
<b>Responsable de AMFE (persona):</b>	Christopher Punguil	<b>Dossier</b>	MNT-TRO-002

Función o Componente del Servicio	Modo de Fallo	Efecto	Causas	G gravedad	O ocurrencia	D detección	NPR	Acciones recomendadas
Contacto y microinterruptor del final de carrera	La prensa no enclava la distancia de recorrido requerida	Inoperancia del equipo	Componentes defectuosos	10	2	7	<b>140</b>	Reemplazar los componentes del sistema que se encuentran defectuosos
	No se recibe la señal del pulsador	No se enclava el cilindro	Cables desconectados	10	2	7	<b>140</b>	Reemplazar los componentes del sistema que se encuentran defectuosos
Placa electrónica	La máquina no se acciona	Inoperancia del equipo	Cables rotos o desconectados	10	2	4	<b>80</b>	Revisar la continuidad de los cables / Reemplazarlos / Conectar los cables de forma adecuada
	Agrietamiento de las pistas de la placa del circuito	Operación intermitente del sistema, en ocasiones el sistema no responde	Los componentes de la placa presentan corrosión	10	2	4	<b>80</b>	Reemplazar los componentes del sistema que se encuentran defectuosos
Botones de accionamiento	Al presionar los botones no se ejecuta la acción solicitada / accionamiento de la máquina / selector de fuerza	Inoperancia del equipo	Cables rotos o desconectados	10	2	6	<b>120</b>	Revisar la continuidad de los cables / Reemplazarlos / Conectar los cables de forma adecuada
	No se enclava la señal de operación del botón de accionamiento	Inoperancia del equipo	Mecanismo del botón roto	10	2	6	<b>120</b>	Reemplazar la botonera



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica**  
**Carrera de Ingeniería Mecánica**  
**Análisis de modos de fallo y efectos de fallo**



<b>Nombre del Sistema (Título):</b>	Sistema mecánico	<b>Fecha</b>	9/2/2022
<b>Responsable (Dpto. / Área):</b>	Área de troquelado	<b>Versión</b>	1
<b>Responsable de AMFE (persona):</b>	Christopher Punguil	<b>Dossier</b>	MNT-TRO-011

Página 1

Función o Componente del Servicio	Modo de Fallo	Efecto	Causas	G gravedad	O ocurrencia	D detección	NPR	Acciones recomendadas
Poleas	Roturas	Se producen daños en las bandas o correas de transmisión	Inadecuada instalación de la polea - correa / Velocidad excesiva / Objetos extraños en las poleas	9	2	1	18	Mantener la velocidad de rotación adecuada para el sistema de transmisión / Mantener limpia y cubierta la zona de arreglo de poleas
	Desgaste excesivo en la garganta de las poleas	Inestabilidad en la rotación de las poleas - vibraciones	Tensión excesiva de las bandas o correas de transmisión	2	2	1	4	Verificar el estado óptimo de tensión y velocidad en cada cambio de bandas o correas de transmisión
	Astilladuras o abolladuras	Mala fijación de la banda de transmisión en la polea	Objetos extraños en las poleas	8	2	1	16	Mantener limpia y cubierta la zona de arreglo de las poleas
Ejes de las poleas	Ejes deformados	Vibraciones en el sistema de transmisión	Excesiva tensión al montaje de las poleas	7	2	3	42	Verificar el estado óptimo de tensión y velocidad en cada cambio de bandas o correas de transmisión
	Roturas en los ejes	Inadecuada transmisión de potencia	Excesiva tensión al montaje de las poleas	8	2	3	48	Verificar el estado óptimo de tensión y velocidad en cada cambio de bandas o correas de transmisión
Correas o bandas de transmisión	Rotura de las correas	Inoperancia del la máquina	Forzado excesivo en la instalación de las correas	10	2	1	20	Verificar el estado óptimo de tensión y velocidad en cada cambio de bandas o correas de transmisión
	Desgaste en las correas	Inadecuada transmisión de potencia	Desgaste natural por el uso de las correas, excesiva temperatura, inadecuada instalación de las correas	8	2	1	16	Reemplazar las correas bajo las especificaciones requeridas para la transmisión de potencia
	Zonas brillantes en las correas de transmisión	Inadecuada transmisión de potencia	Inadecuada selección de las correa / inadecuado montaje de las correas	5	2	1	10	Verificar el estado óptimo de tensión y velocidad en cada cambio de bandas o correas de transmisión
	Presencia de grietas en las correas	Pueden dar origen a la rotura de las correas	Se generan temperaturas excesivas en las correas / contaminación de las correas	7	2	1	14	Verificar el estado óptimo de tensión y velocidad en cada cambio de bandas o correas de transmisión
	Desgaste en la base de las correas	Inadecuada transmisión de potencia	Inadecuada tensión de las correas	5	2	1	10	Verificar el estado óptimo de tensión y velocidad en cada cambio de bandas o correas de transmisión



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica**  
**Carrera de Ingeniería Mecánica**  
**Análisis de modos de fallo y efectos de fallo**



<b>Nombre del Sistema (Título):</b>	Sistema mecánico	<b>Fecha:</b>	2/9/2022
<b>Responsable (Dpto. / Área):</b>	Área de troquelado	<b>Versión:</b>	1
<b>Responsable de AMFE (persona):</b>	Christopher Punguil	<b>Dossier:</b>	MNT-TRO-011

Página 2

Función o Componente del Servicio	Modo de Fallo	Efecto	Causas	G gravedad	O ocurrencia	D detección	NPR	Acciones recomendadas
Cigüeñal	Desequilibrio en la rotación	Vibraciones y aplicación irregular de la carga	Desgaste irregular del cigüeñal	8	2	1	<b>16</b>	Verificar la alineación e instalación de las poleas y del sistema de transmisión de potencia / Rectificar el cigüeñal
	Rotura	Inoperancia del la máquina	Rotura por fatiga	10	2	1	<b>20</b>	Reemplazar el cigüeñal
Brazo de aplicación de carga	Rotura de agujero de acople del brazo al cigüeñal	Inoperancia del la máquina	Rotura por fatiga	10	2	1	<b>20</b>	Reparación del brazo de aplicación de carga
	Holgura en el agujero de acople del brazo al cigüeñal	Inadecuada aplicación de la carga	Desgaste del sistema de ajuste	8	2	1	<b>16</b>	Reemplazar el brazo de aplicación de carga
Motor	Corrosión en la carcasa del motor	Pueden afectar al funcionamiento de otros componentes del motor	Presencia de humedad, acumulación de elementos extraños	4	2	1	<b>8</b>	Limpieza de la carcasa y verificación de la nivelación del motor
	Agotamiento de las bobinas del motor	Desequilibrio en el voltaje del estrator del motor	Daños físicos del motor, presencia de contaminación por corrosión, elevadas temperaturas	7	2	4	<b>56</b>	Rebobinado e instalación adecuada en el motor
	Daño físico en los rotores del motor	Tensiones excesivas en los rodamientos	Desequilibrio en el eje del motor, presencia de elementos contaminantes, instalaciones inadecuadas	6	2	4	<b>48</b>	Limpieza y montaje adecuado del rotor
	Desalineación de los rodamientos	Generación de vibraciones, ruidos, desbalanceos del motor	Instalación y alineación inadecuada, deficiente lubricación, presencia de elementos contaminantes	7	2	6	<b>84</b>	Reemplazo de los rodamientos y montaje adecuado, selección adecuada de los componentes
	Daños físicos en los ventiladores del motor	Inadecuado enfriamiento del motor, se pueden producir daños en otros componentes por excesiva temperatura	Presencia de polvo o elementos extraños acumulados en el ventilaor	6	2	4	<b>48</b>	Limpieza y montaje adecuado, reemplazo del ventilador
	Cortocircuitos en los bobinados del motor	Inoperancia del motor y por ende, de la máquina	Deficiente aislamiento del motor, presencia de elementos contaminantes, humedad y sobrecalentamientos del motor	10	2	6	<b>120</b>	Revisión del estado físico de los aislamientos del cableado del motor y reemplazo de los componentes afectados
	Daños físicos en el eje del motor	Generación de vibraciones, ruidos, desbalanceos del motor	Instalación y alineación inadecuada, deficiente lubricación, presencia de elementos contaminantes	7	2	6	<b>84</b>	Reemplazo del eje, limpieza de los componentes, montaje adecuado



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica**  
**Carrera de Ingeniería Mecánica**  
**Análisis de modos de fallo y efectos de fallo**



<b>Nombre del Sistema (Título):</b>	Sistema mecánico	<b>Fecha</b>	9/2/2022
<b>Responsable (Dpto. / Área):</b>	Área de troquelado	<b>Versión</b>	1
<b>Responsable de AMFE (persona):</b>	Christopher Punguil	<b>Dossier</b>	MNT-TRO-011

Página 3

Función o Componente del Servicio	Modo de Fallo	Efecto	Causas	gravidad G	ocurrencia O	detección D	NPR	Acciones recomendadas
Pedal	Rotura del pedal	El sistema de activación de la carga es incómodo	Inadecuada manipulación del soporte	4	2	1	<b>8</b>	Reparación del pedal
	Desconexión de la barra de aplicación de la carga	No se posibilita la activación del mecanismo	Inadecuado montaje o desconexión de pernos de unión	9	2	1	<b>18</b>	Revisión periódica de la conexión de los elementos
Freno	Desgaste del elemento	No se puede enclavar el posicionamiento del cigüeñal	Deterioro natural del elemento	9	2	1	<b>18</b>	Reemplazo del elemento afectado
	Rotura del elemento	No se puede enclavar el posicionamiento del cigüeñal	Falla del elemento por fatiga o por impacto	9	2	1	<b>18</b>	Reemplazo del elemento afectado



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica**  
**Carrera de Ingeniería Mecánica**  
**Análisis de modos de fallo y efectos de fallo**



<b>Nombre del Sistema (Título):</b>	Sistema de transporte por cadena	<b>Fecha</b>	9/2/2022
<b>Responsable (Dpto. / Área):</b>	Área de troquelado	<b>Versión</b>	1
<b>Responsable de AMFE (persona):</b>	Christopher Punguil	<b>Dossier</b>	MNT-TS-005

Página 1

Función o Componente del Servicio	Modo de Fallo	Efecto	Causas	G gravedad	O ocurrencia	D detección	NPR	Acciones recomendadas
Cadena de rodillos o casquillos	Rotura del eslabón	Imposibilita el movimiento del transportador	Presencia de objetos extraños en el sistema / sobrecarga en el sistema	8	2	1	<b>16</b>	Reemplazo del componente afectado / Revisión de la configuración del motor / Limpieza del sistema de transmisión
	Deformación de la placa de articulación del rodillo	Deficiente movimiento del sistema de cadenas / Las secciones se traban	Presencia de objetos extraños en el sistema / deficiente lubricación	5	2	1	<b>10</b>	Reemplazo del componente afectado / Revisión de la configuración del motor / Limpieza del sistema de transmisión
	Desenlace entre eslabones	Imposibilita el movimiento del transportador	Componentes del eslabón defectuosos / deficiente lubricación	8	2	1	<b>16</b>	Lubricar la cadena completa y reemplazo de los componentes afectados
Catalinas	Deformación de los dientes	La cadena se desalinea o se traba y desconecta de la transmisión	Presencia de objetos extraños en el sistema / sobrecarga de potencia	5	2	3	<b>30</b>	Reemplazo del componente afectado / Revisión de la configuración del motor / Limpieza del sistema de transmisión
	Rotura de los dientes	La cadena se desalinea o se traba y desconecta de la transmisión	Presencia de objetos extraños en el sistema / sobrecarga de potencia	5	2	3	<b>30</b>	Reemplazo del componente afectado / Revisión de la configuración del motor / Limpieza del sistema de transmisión
Rodillos	Presencia de corrosión	Menor durabilidad del componente / Manchar los productos	Inadecuada selección del material de los rodillos	6	2	1	<b>12</b>	Limpieza periódica de los rodillos, pintura anticorrosiva con resistencia a elevadas temperaturas
	Rotura de los rodillos	El sistema de transporte queda incompleto	Falla del material por trabajo a elevadas temperaturas	3	2	1	<b>6</b>	Reemplazo del componente afectado
Ejes de transmisión	Vibraciones	Ruido e inestabilidad de la máquina	Desalineación de los ejes	8	2	1	<b>16</b>	Montaje adecuado de los ejes y catalinas
	Desfase del movimiento	No se produce un movimiento coordinado en el transportador	Los ejes que se unen entre catalinas no están conectados adecuadamente	9	2	1	<b>18</b>	Montaje adecuado de los ejes y catalinas



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica**  
**Carrera de Ingeniería Mecánica**  
**Análisis de modos de fallo y efectos de fallo**



<b>Nombre del Sistema (Título):</b>	Sistema de transporte por cadena	<b>Fecha:</b>	2/9/2022
<b>Responsable (Dpto. / Área):</b>	Área de troquelado	<b>Versión:</b>	1
<b>Responsable de AMFE (persona):</b>	Christopher Punguil	<b>Dossier:</b>	MNT-TS-005

Página 2

Función o Componente del Servicio	Modo de Fallo	Efecto	Causas	G gravidad	O ocurrencia	D detección	NPR	Acciones recomendadas
Motor	Corrosión en la carcasa del motor	Pueden afectar al funcionamiento de otros componentes del motor	Presencia de humedad, acumulación de elementos extraños	4	2	1	8	Limpieza de la carcasa y verificación de la nivelación del motor
	Agotamiento de las bobinas del motor	Desequilibrio en el voltaje del estrator del motor	Daños físicos del motor, presencia de contaminación por corrosión, elevadas temperaturas	7	2	4	56	Rebobinado e instalación adecuada en el motor
	Daño físico en los rotores del motor	Tensiones excesivas en los rodamientos	Desequilibrio en el eje del motor, presencia de elementos contaminantes, instalaciones inadecuadas	6	2	4	48	Limpieza y montaje adecuado del rotor
	Desalineación de los rodamientos	Generación de vibraciones, ruidos, desbalanceos del motor	Instalación y alineación inadecuada, deficiente lubricación, presencia de elementos contaminantes	7	2	6	84	Reemplazo de los rodamientos y montaje adecuado, selección adecuada de los componentes
	Daños físicos en los ventiladores del motor	Inadecuado enfriamiento del motor, se pueden producir daños en otros componentes por excesiva temperatura	Presencia de polvo o elementos extraños acumulados en el ventilador	6	2	4	48	Limpieza y montaje adecuado, reemplazo del ventilador
	Cortocircuitos en los bobinados del motor	Inoperancia del motor y por ende, de la máquina	Deficiente aislamiento del motor, presencia de elementos contaminantes, humedad y sobrecalentamientos del motor	10	2	6	120	Revisión del estado físico de los aislamientos del cableado del motor y reemplazo de los componentes afectados
	Daños físicos en el eje del motor	Generación de vibraciones, ruidos, desbalanceos del motor	Instalación y alineación inadecuada, deficiente lubricación, presencia de elementos contaminantes	7	2	6	84	Reemplazo del eje, limpieza de los componentes, montaje adecuado
Panel de control de velocidad y arranque	Al oprimir los comandos no se activan las opciones de regulación de velocidad o encendido del sistema de transporte	El transportador interno de la máquina no se activa o no cambia de velocidad	Presencia de cables desconectados en el panel de control o en el motor	8	2	6	96	Verificar la continuidad de los cables y las conexiones del sistema
	No se ejecutan las operaciones del transportador	El transportador interno de la máquina no se activa o no cambia de velocidad	La placa electrónica presenta elementos desconectados o daños por corrosión	8	2	6	96	Revisar la placa electrónica y conectar o reemplazar los componentes defectuosos



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica**  
**Carrera de Ingeniería Mecánica**  
**Análisis de modos de fallo y efectos de fallo**



<b>Nombre del Sistema (Título):</b>	Sistema de generación y transmisión de calor	<b>Fecha</b>	2/9/2022
<b>Responsable (Dpto. / Área):</b>	Área de troquelado	<b>Versión</b>	1
<b>Responsable de AMFE (persona):</b>	Christopher Punguil	<b>Dossier</b>	MNT-TS-005

Función o Componente del Servicio	Modo de Fallo	Efecto	Causas	G gravedad	O ocurrencia	D detección	NPR	Acciones recomendadas
Niquelinas	El sistema no alcanza la temperatura configurada	Los elementos no se sellan adecuadamente por temperatura insuficiente	Una de las niquelinas puede estar quemada o los cables no se encuentran bien conectados	9	2	4	<b>72</b>	Reemplazar los componentes defectuosos / Conectar adecuadamente los cables
	El sistema no se calienta	Inoperancia del equipo	Las niquelinas pueden estar quemadas o los cables pueden estar desconectados	10	2	4	<b>80</b>	Reemplazar los componentes defectuosos / Conectar adecuadamente los cables
Ventilador	Los ventiladores no se encienden	No se puede distribuir la temperatura uniformemente en la máquina	Los ventiladores pueden estar defectuosos o no hay una buena conexión de estos	7	2	4	<b>56</b>	Reemplazar los componentes defectuosos / Conectar adecuadamente los cables
	Existe presencia de ruido al encender los ventiladores	Las condiciones de trabajo son inadecuadas	Presencia de suciedad en los ventiladores	5	2	4	<b>40</b>	Limpiar los ventiladores
Panel de control de temperatura	El controlador de temperatura está encendido sin embargo, no se ejecutan las opciones regulación de la temperatura y ventilación	No se puede ajustar la temperatura adecuada para el termosellado	Los cables de la niquelina no están bien conectados / La programación está desconfigurada	10	2	6	<b>120</b>	Revisar el sistema de conexión y conectar adecuadamente los cables, o reemplazarlos / Reconfigurar la programación del controlador de temperatura
	No se visualizan las opciones del panel de control de temperatura	No se puede ajustar la temperatura adecuada para el termosellado	El controlador puede estar defectuoso o con cables desconectados	10	2	6	<b>120</b>	Reemplazar los componentes defectuosos



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica**  
**Carrera de Ingeniería Mecánica**  
**Análisis de modos de fallo y efectos de fallo**



<b>Nombre del Sistema (Título):</b>	Sistema neumático	<b>Fecha</b>	2/9/2022
<b>Responsable (Dpto. / Área):</b>	Área de troquelado	<b>Versión</b>	1
<b>Responsable de AMFE (persona):</b>	Christopher Punguil	<b>Dossier</b>	MNT-AFRE-001

Función o Componente del Servicio	Modo de Fallo	Efecto	Causas	G gravidad	O ocurrencia	D detección	NPR	Acciones recomendadas
Electroválvula	Ruptura del vástago o émbolo	No se apertura o cierra de forma adecuada la válvula	Fatiga del elemento por velocidad excesiva o presión excesiva del resorte	8	2	4	<b>64</b>	Verificar que el dimensionamiento de la electroválvula sea el necesario para la presión del sistema
	Fuga de aire en la electroválvula	Ruido y presión de aire insuficiente para la operación del cilindro	Sello defectuoso	8	2	2	<b>32</b>	Reemplazar los componentes defectuosos
	No se activa la señal de apertura y cierre de la electroválvula	Inoperancia del sistema	La bobina de la electroválvula puede estar defectuosa, o las conexiones son deficientes	10	2	4	<b>80</b>	Reemplazar los componentes defectuosos
Unidad de mantenimiento	Caídas de presión en el sistema neumático	La presión del cilindro es deficiente	Filtro con presencia de suciedad o humedad	8	2	3	<b>48</b>	Reemplazar el filtro
	No se puede mantener la presión del sistema de manera constante	El movimiento del cilindro presenta dificultades	Daños en el regulador de presión	9	2	5	<b>90</b>	Reemplazar los componentes defectuosos
	Presencia de corrosión en el cilindro	El movimiento del cilindro presenta dificultades	Deficiente lubricación del sistema o presencia de humedad	9	2	1	<b>18</b>	Colocar un lubricante adecuado para lubricar el aire / Verificar el filtro de la unidad / Verificar el estado del aceite lubricante
Mangueras neumáticas	Fugas de aire	Pérdida de presión en el sistema / Ruido	Roturas de las mangueras o conexiones inadecuadas	6	2	1	<b>12</b>	Reemplazar los componentes defectuosos como accesorios de conexión o mangueras
	Rigidez excesiva de las mangueras	Desconexión de las mangueras / Ruido	Degradación de las mangueras	6	2	1	<b>12</b>	Reemplazar los componentes defectuosos / Evitar el contacto con sustancias químicas
Cilindro neumático	Fugas de aire	Pérdida de fuerza de aplicación de la carga	Sellos del cilindro defectuosos	8	2	1	<b>16</b>	Reemplazar los componentes defectuosos
	Presencia de estrias en el vástago	Contaminación de la cámara interna del cilindro	Presencia de partículas contaminantes en el cilindro	8	2	1	<b>16</b>	Reemplazar los componentes defectuosos / Limpieza del cilindro



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica**  
**Carrera de Ingeniería Mecánica**  
**Análisis de modos de fallo y efectos de fallo**



<b>Nombre del Sistema (Título):</b>	Sistema mecánico	<b>Fecha</b>	9/2/2022
<b>Responsable (Dpto. / Área):</b>	Área de troquelado	<b>Versión</b>	1
<b>Responsable de AMFE (persona):</b>	Christopher Punguil	<b>Dossier</b>	MNT-COR-001

Página 1

Función o Componente del Servicio	Modo de Fallo	Efecto	Causas	G gravedad	O ocurrencia	D detección	NPR	Acciones recomendadas
Poleas	Roturas	Se producen daños en las bandas o correas de transmisión	Inadecuada instalación de la polea - correa / Velocidad excesiva / Objetos extraños en las poleas	9	2	1	<b>18</b>	Mantener la velocidad de rotación adecuada para el sistema de transmisión / Mantener limpia y cubierta la zona de arreglo de poleas
	Desgaste excesivo en la garganta de las poleas	Inestabilidad en la rotación de las poleas - vibraciones	Tensión excesiva de las bandas o correas de transmisión	2	2	1	<b>4</b>	Verificar el estado óptimo de tensión y velocidad en cada cambio de bandas o correas de transmisión
	Astilladuras o abolladuras	Mala fijación de la banda de transmisión en la polea	Objetos extraños en las poleas	8	2	1	<b>16</b>	Mantener limpia y cubierta la zona de arreglo de las poleas
Correas o bandas de transmisión	Rotura de las correas	Inoperancia del la máquina	Forzado excesivo en la instalación de las correas	10	2	1	<b>20</b>	Verificar el estado óptimo de tensión y velocidad en cada cambio de bandas o correas de transmisión
	Desgaste en las correas	Inadecuada transmisión de potencia	Desgaste natural por el uso de las correas, excesiva temperatura, inadecuada instalación de las correas	8	2	1	<b>16</b>	Reemplazar las correas bajo las especificaciones requeridas para la transmisión de potencia
	Zonas brillantes en las correas de transmisión	Inadecuada transmisión de potencia	Inadecuada selección de las correa / inadecuado montaje de las correas	5	2	1	<b>10</b>	Verificar el estado óptimo de tensión y velocidad en cada cambio de bandas o correas de transmisión
	Presencia de grietas en las correas	Pueden dar origen a la rotura de las correas	Se generan temperaturas excesivas en las correas / contaminación de las correas	7	2	1	<b>14</b>	Verificar el estado óptimo de tensión y velocidad en cada cambio de bandas o correas de transmisión
	Desgaste en la base de las correas	Inadecuada transmisión de potencia	Inadecuada tensión de las correas	5	2	1	<b>10</b>	Verificar el estado óptimo de tensión y velocidad en cada cambio de bandas o correas de transmisión



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica**  
**Carrera de Ingeniería Mecánica**  
**Análisis de modos de fallo y efectos de fallo**



<b>Nombre del Sistema (Título):</b>	Sistema mecánico	<b>Fecha</b>	2/9/2022
<b>Responsable (Dpto. / Área):</b>	Área de troquelado	<b>Versión</b>	1
<b>Responsable de AMFE (persona):</b>	Christopher Punguil	<b>Dossier</b>	MNT-COR-001

Página 2

Función o Componente del Servicio	Modo de Fallo	Efecto	Causas	G gravedad	O ocurrencia	D detección	NPR	Acciones recomendadas
Motor	Corrosión en la carcasa del motor	Pueden afectar al funcionamiento de otros componentes del motor	Presencia de humedad, acumulación de elementos extraños	4	2	1	<b>8</b>	Limpeza de la carcasa y verificación de la nivelación del motor
	Agotamiento de las bobinas del motor	Desequilibrio en el voltaje del estrator del motor	Daños físicos del motor, presencia de contaminación por corrosión, elevadas temperaturas	7	2	4	<b>56</b>	Rebobinado e instalación adecuada en el motor
	Daño físico en los rotores del motor	Tensiones excesivas en los rodamientos	Desequilibrio en el eje del motor, presencia de elementos contaminantes, instalaciones inadecuadas	6	2	4	<b>48</b>	Limpeza y montaje adecuado del rotor
	Desalineación de los rodamientos	Generación de vibraciones, ruidos, desbalanceos del motor	Instalación y alineación inadecuada, deficiente lubricación, presencia de elementos contaminantes	7	2	6	<b>84</b>	Reemplazo de los rodamientos y montaje adecuado, selección adecuada de los componentes
	Daños físicos en los ventiladores del motor	Inadecuado enfriamiento del motor, se pueden producir daños en otros componentes por excesiva temperatura	Presencia de polvo o elementos extraños acumulados en el ventilador	6	2	4	<b>48</b>	Limpeza y montaje adecuado, reemplazo del ventilador
	Cortocircuitos en los bobinados del motor	Inoperancia del motor y por ende, de la máquina	Deficiente aislamiento del motor, presencia de elementos contaminantes, humedad y sobrecalentamientos del motor	10	2	6	<b>120</b>	Revisión del estado físico de los aislamientos del cableado del motor y reemplazo de los componentes afectados
	Daños físicos en el eje del motor	Generación de vibraciones, ruidos, desbalanceos del motor	Instalación y alineación inadecuada, deficiente lubricación, presencia de elementos contaminantes	7	2	6	<b>84</b>	Reemplazo del eje, limpieza de los componentes, montaje adecuado



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica**  
**Carrera de Ingeniería Mecánica**  
**Análisis de modos de fallo y efectos de fallo**



<b>Nombre del Sistema (Título):</b>	Sistema mecánico	<b>Fecha</b>	2/9/2022
<b>Responsable (Dpto. / Área):</b>	Área de troquelado	<b>Versión</b>	1
<b>Responsable de AMFE (persona):</b>	Christopher Punguil	<b>Dossier</b>	MNT-COR-001

Página 3

Función o Componente del Servicio	Modo de Fallo	Efecto	Causas	G gravedad	O ocurrencia	D detección	NPR	Acciones recomendadas
Engranajes	Desgaste	Reducción de las dimensiones de los dientes lo que genera ruido, distorsiones en la conformación de los muelles	Deficiente lubricación, presencia de partículas abrasivas, contaminación del lubricante con agentes químicos agresivos	6	2	8	96	Suministrar lubricación y limpieza continua en el sistema, en ocasiones es útil emplear un lubricante más viscoso
	Fatiga superficial	Presencia de grietas o picaduras en la superficie de los dientes, deformación del perfil del engranaje	Esfuerzos superficiales constantes que aparecen de forma repetitiva hasta la fatiga del material	6	2	8	96	Diseñar el elemento para soportar mayores ciclos de trabajo / Emplear un material de mayor dureza / Proporcionar un tratamiento térmico superficial
	Roturas de los dientes	Interrupción del movimiento en el sistema	Sobreesfuerzo de cargas / desalineación de los engranajes	9	2	8	144	Ensamblar correctamente el sistema de transmisión / reemplazar los elementos defectuosos
Ejes de transmisión	Ejes deformados	Vibraciones en el sistema de transmisión	Excesiva tensión al montaje de las poleas	7	2	3	42	Verificar el estado óptimo de tensión y velocidad en cada cambio de bandas o correas de transmisión
	Roturas en los ejes	Inadecuada transmisión de potencia	Excesiva tensión al montaje de las poleas	8	2	3	48	Verificar el estado óptimo de tensión y velocidad en cada cambio de bandas o correas de transmisión



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica**  
**Carrera de Ingeniería Mecánica**  
**Análisis de modos de fallo y efectos de fallo**



<b>Nombre del Sistema (Título):</b>	Sistema neumático	<b>Fecha:</b>	2/9/2022
<b>Responsable (Dpto. / Área):</b>	Área de troquelado	<b>Versión:</b>	1
<b>Responsable de AMFE (persona):</b>	Christopher Punguil	<b>Dossier:</b>	MNT-COR-001

Página 1

Función o Componente del Servicio	Modo de Fallo	Efecto	Causas	G gravedad	O ocurrencia	D detección	NPR	Acciones recomendadas
Electroválvula	Ruptura del vástago o émbolo	No se apertura o cierra de forma adecuada la válvula	Fatiga del elemento por velocidad excesiva o presión excesiva del resorte	8	2	4	<b>64</b>	Verificar que el dimensionamiento de la electroválvula sea el necesario para la presión del sistema
	Fuga de aire en la electroválvula	Ruido y presión de aire insuficiente para la operación del cilindro	Sello defectuoso	8	2	2	<b>32</b>	Reemplazar los componentes defectuosos
	No se activa la señal de apertura y cierre de la electroválvula	Inoperancia del sistema	La bobina de la electroválvula puede estar defectuosa, o las conexiones son deficientes	10	2	4	<b>80</b>	Reemplazar los componentes defectuosos
Unidad de mantenimiento	Caídas de presión en el sistema neumático	La presión del cilindro es deficiente	Filtro con presencia de suciedad o humedad	8	2	3	<b>48</b>	Reemplazar el filtro
	No se puede mantener la presión del sistema de manera constante	El movimiento del cilindro presenta dificultades	Daños en el regulador de presión	9	2	5	<b>90</b>	Reemplazar los componentes defectuosos
	Presencia de corrosión en el cilindro	El movimiento del cilindro presenta dificultades	Deficiente lubricación del sistema o presencia de humedad	9	2	1	<b>18</b>	Colocar un lubricante adecuado para lubricar el aire / Verificar el filtro de la unidad / Verificar el estado del aceite lubricante
Mangueras neumáticas	Fugas de aire	Pérdida de presión en el sistema / Ruido	Roturas de las mangueras o conexiones inadecuadas	6	2	1	<b>12</b>	Reemplazar los componentes defectuosos como accesorios de conexión o mangueras
	Rigidez excesiva de las mangueras	Desconexión de las mangueras / Ruido	Degradación de las mangueras	6	2	1	<b>12</b>	Reemplazar los componentes defectuosos / Evitar el contacto con sustancias químicas
Cilindro neumático	Fugas de aire	Pérdida de fuerza de aplicación de la carga	Sellos del cilindro defectuosos	8	2	1	<b>16</b>	Reemplazar los componentes defectuosos
	Presencia de estrías en el vástago	Contaminación de la cámara interna del cilindro	Presencia de partículas contaminantes en el cilindro	8	2	1	<b>16</b>	Reemplazar los componentes defectuosos / Limpieza del cilindro

### 3.1.5. Análisis de fiabilidad de las máquinas. Distribución de Weibull

#### 3.1.5.1. Estadístico de mantenimiento, ver Anexo (NTP 331)

Mediante este análisis se definen las actividades a desarrollarse durante el año 2021, se consideró una actividad semanal sin tomar en cuenta los días feriados y fines de semana, se consideró el tiempo de operación semanal de cada máquina teniendo en cuenta que las más demandadas son las troqueladoras debido al volumen de producción en una sola jornada.

Para el cálculo fueron considerados los siguientes parámetros.

**MTBF:** Tiempo medio entre fallos

**MTTR :** Tiempo medio de reparaciones.

$\lambda$ : Tasa de fallos.

(Ecuación 4)

$$\lambda = \frac{1}{MTBF}$$

$\mu$ : Tasa de reparación

(Ecuación 5)

$$\mu = \frac{1}{MTTR}$$

**D:** Disponibilidad

(Ecuación 6)

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

**To:** Tiempo de operación en horas según la demanda de la máquina

**TR:** Tiempo de reparación en horas (Según el criterio del departamento de mantenimiento)

**TM:** Tiempo muerto (parada de la máquina por cuestiones de mantenimiento)

**TP:** Tiempo de parada total.

(Ecuación 7)

$$TP = TR + TM$$

**Tabla 5:** Estadístico de mantenimiento de las máquinas troqueladoras.

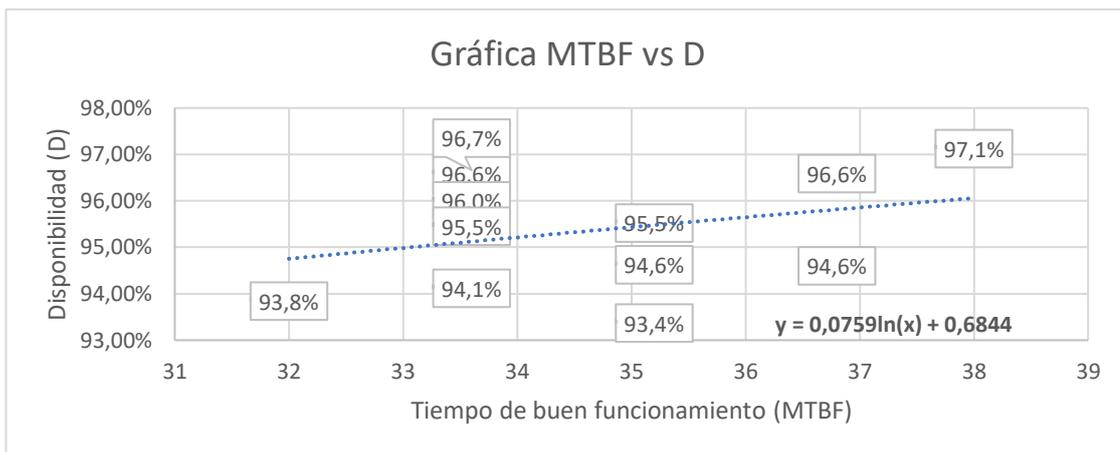
Máquina	Prensa Troqueladora Mecánica		Código				MNT-TRO-011				
Horas de Trabajo por día	8										
Mes	Actividades	Fecha	To (h)	TR (h)	TM (h)	TP (h)	MTBF (h)	$\lambda$	MTTR (h)	$\mu$	D (%)
ENERO	Inicio de actividades.	3/1/2021	40				33,6	0,030	1,188	0,842	96,59%
	Verificación de la máquina	10/1/2021	40	0,75	0,25	1					
	Limpieza de componentes mecánicos	17/1/2021	40	2	0,5	2,5					
	Verificación de apriete en pernos	24/1/2021	40	0,5	0,25	0,75					
	Control de parámetros de lubricación	31/1/2021	8	1,5	0,3	1,8					
FEBRERO	Limpieza de mesa de trabajo	1/2/2021	32	1	0,5	1,5	38	0,026	1,125	0,889	97,12%
	Limpieza del área de trabajo	7/2/2021	40	1,5	0,5	2					
	Verificación de componentes eléctricos	14/2/2021	40	1	0,5	1,5					
	Verificación de elementos mecánicos	21/2/2021	40	1	0,5	1,5					
MARZO	Verificación de lubricación en engranajes	2/3/2021	32	2	0,5	2,5	36,800	0,027	1,300	0,769	96,59%
	Revisión de motores	7/3/2021	40	1,25	0,5	1,75					
	Verificación de mecanismos	14/3/2021	40	1,5	0,5	2					
	Revisión de correa	21/3/2021	40	0,5	0,25	0,75					
	Revisión de rodamientos	28/3/2021	32	1,25	0,25	1,5					

Máquina	Prensa Troqueladora Mecánica		Código		MNT-TRO-011						
Horas de Trabajo por día	8										
Mes	Actividades	Fecha	To (h)	TR (h)	TM (h)	TP (h)	MTBF (h)	$\lambda$	MTTR (h)	$\mu$	D (%)
ABRIL	Ajuste de pernos de la mesa de trabajo	1/4/2021	8	1,5	0,25	1,75	33,600	0,030	1,160	0,862	96,66%
	Revisión de cubiertas de seguridad	4/4/2021	40	0,3	0,25	0,55					
	Comprobación de velocidad de giro del motor	11/4/2021	40	0,5	0,5	1					
	Verificación de sistemas de accionamiento	18/4/2021	40	2	0,35	2,35					
	Verificación de volante	25/4/2021	40	1,5	0,5	2					
MAYO	Revisión de excentricidad del mecanismo principal	2/5/2021	40	1	0,5	1,5	33,600	0,030	1,400	0,714	96,00%
	Verificación de control de operación	9/5/2021	40	1,5	0,25	1,75					
	Verificación del sistema de seguridad	16/5/2021	40	1,5	0,25	1,75					
	Revisión guías de	23/5/2021	32	1	0,25	1,25					
	Limpieza de Bastidor	30/5/2021	16	2	0,25	2,25					
JUNIO	Lubricación de caja de transmisión	1/6/2021	24	3	1	4	35,200	0,028	1,650	0,606	95,52%
	Revisión eléctrica del motor	6/6/2021	40	2	0,5	2,5					
	Lubricación del volante	13/6/2021	40	1	0,25	1,25					
	Ajuste de la porta punzones	20/6/2021	40	1,25	0,35	1,6					
	Lubricación de la porta punzones	27/6/2021	32	1	0,25	1,25					

Máquina	Prensa Troqueladora Mecánica		Código				MNT-TRO-011				
Horas de Trabajo por día	8										
Mes	Actividades	Fecha	To (h)	TR (h)	TM (h)	TP (h)	MTBF (h)	$\lambda$	MTTR (h)	$\mu$	D (%)
JULIO	Extracción de residuos de material de la mesa de trabajo	1/7/2021	8	2	0,5	2,5	33,600	0,030	1,600	0,625	95,45%
	Lubricación de guía del carro vertical	4/7/2021	40	2	0,5	2,5					
	Ajuste de pernos de la mesa de trabajo	11/7/2021	40	1,5	0,25	1,75					
	Ajuste de pernos del porta punzones	18/7/2021	40	1	0,5	1,5					
	Cambio de correa del motor	25/7/2021	40	1,5	0,75	2,25					
AGOSTO	Cambio de contactores y finales de carrera	1/8/2021	40	2,5	0,5	3	36,800	0,027	2,100	0,476	94,60%
	Revisión de cableado defectuoso	8/8/2021	40	1,5	0,35	1,85					
	Cambio de cableado defectuoso	15/8/2021	40	3	1	4					
	Cambio de luces piloto y órganos de mando	22/8/2021	40	1	0,25	1,25					
	Limpieza de residuos de la mesa de trabajo	29/8/2021	24	2,5	0,75	3,25					
SEPTIEMBRE	Lubricación de guías de la mesa	1/9/2021	16	1,5	0,5	2	35,200	0,028	2,000	0,500	94,62%
	Cambio de rodamientos	5/9/2021	40	3,5	0,5	4					
	Verificación de sistemas de accionamiento	12/9/2021	40	1	0,25	1,25					

Máquina	Prensa Troqueladora Mecánica			Código	MNT-TRO-011						
Horas de Trabajo por día	8										
Mes	Actividades	Fecha	To (h)	TR (h)	TM (h)	TP (h)	MTBF (h)	$\lambda$	MTTR (h)	$\mu$	D (%)
SEPTIEMBRE	Lubricación de engranajes	19/9/2021	40	2,5	0,5	3					
	Lubricación de volante de inercia	26/9/2021	40	1,5	0,5	2					
OCTUBRE	Cambio de engranajes defectuosos	3/10/2021	40	2	0,75	2,75	33,600	0,030	2,100	0,476	94,12%
	Limpieza general de la máquina	10/10/2021	40	4	1	5					
	Desengrase de la mesa de trabajo	17/10/2021	40	1,5	0,25	1,75					
	Lubricación de la mesa de trabajo	24/10/2021	40	2	1	3					
	Ajuste de pernos y tuercas	31/10/2021	8	1	0,5	1,5					
NOVIEMBRE	Recalibración del sistema de seguridad	1/11/2021	16	3	0,75	3,75	32,000	0,031	2,100	0,476	93,84%
	Cambio de Escobillas del motor	7/11/2021	40	2	0,5	2,5					
	Cambio de accesorios eléctricos defectuosos	14/11/2021	40	1,5	0,5	2					
	Detección de pernos defectuosos	21/11/2021	40	2	0,5	2,5					
	Cambio de pernos defectuosos	28/11/2021	24	2	0,5	2,5					

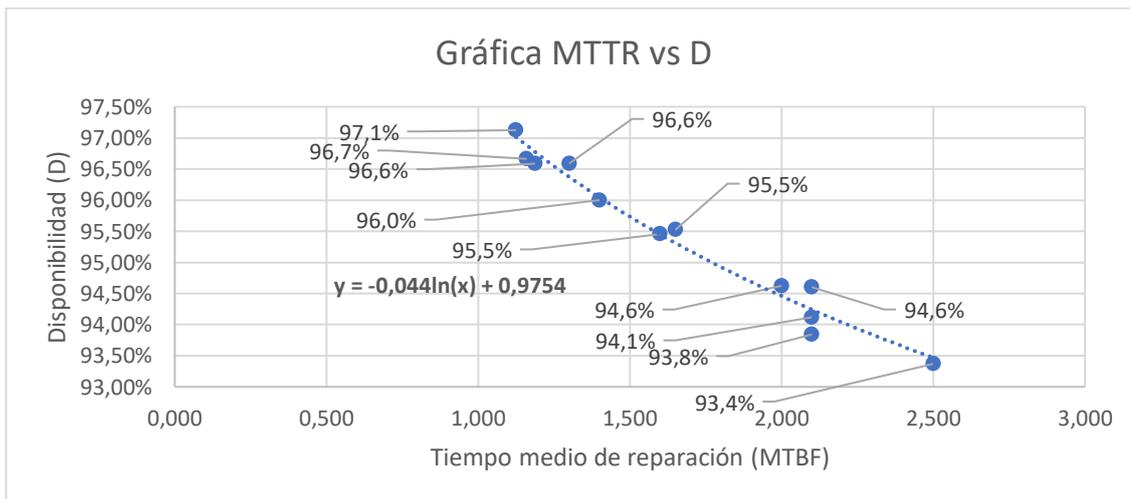
Máquina	Prensa Troqueladora Mecánica			Código	MNT-TRO-011						
Horas de Trabajo por día	8										
Mes	Actividades	Fecha	To (h)	TR (h)	TM (h)	TP (h)	MTBF (h)	$\lambda$	MTTR (h)	$\mu$	D (%)
DICIEMBRE	Verificación de resortes	1/12/2021	16	1,5	0,5	2	35,200	0,028	2,500	0,400	93,37%
	Cambio de resortes en mal estado	5/12/2021	40	2,5	0,75	3,25					
	Limpieza general de la máquina	12/12/2021	40	3	0,75	3,75					
	Reemplazo de elementos mecánicos en mal estado	19/12/2021	40	3	0,5	3,5					
	Cierre de actividades	26/12/2021	40			0					



**Figura 11:** Gráfica MTBF vs D para máquinas troqueladoras.

**Fuente:** Autor.

En la Figura 11 se puede apreciar que la disponibilidad máxima de las máquinas troqueladoras es de 96,66% para un tiempo de buen funcionamiento de 33,60 horas, todos los datos se encuentran dispersos por tal motivo se encontró un coeficiente de correlación  $R^2$  de 0,0923 el punto mínimo de disponibilidad corresponde a 93,37% para un tiempo de buen funcionamiento de 35,2 h



**Figura 12:** Gráfica MTTR vs D para máquinas troqueladoras.

**Fuente:** Autor.

En la Figura 12 se puede apreciar que la disponibilidad máxima de las máquinas troqueladoras es de 97,12% para un tiempo de reparación de 1,125 horas, existe relación entre los datos presentados por tal motivo se encontró un coeficiente de correlación  $R^2$  de 0,9693 el punto mínimo de disponibilidad corresponde a 93,37% para un tiempo de reparación de 2,5 horas.

### Modelo matemático de Weibull para máquinas troqueladoras.

Se calcula la probabilidad de fallo y la fiabilidad de las máquinas troqueladoras, partiendo de las actividades descritas en el estadístico desarrollado, asumiendo que se tiene un fallo por cada actividad.

Los parámetros calculados se muestran en la Tabla 5.

Estimación de la media.

Se utilizó el dato de sumatoria de  $\ln(To)$  obtenido en la hoja de cálculo de la Tabla 5 para calcular la media mediante la siguiente ecuación:

(Ecuación 8)

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

$$\bar{x} = \frac{204,893}{57}$$

$$\bar{x} = 3,595$$

Varianza.

(Ecuación 9)

$$\bar{x} = \frac{(204,893)^2}{57 - 1}$$

$$\bar{x} = 0.230$$

Desviación estándar.

(Ecuación 10)

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

$$S = \sqrt{0.230}$$

$$S = 0.4794$$

Parámetros para la ecuación de Weibull.

Coficiente Beta.

(Ecuación 11)

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

$$\beta = \frac{\pi}{0.4794\sqrt{6}}$$

$$\beta = 2.675$$

Coefficiente alfa.

(Ecuación 12)

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

$$\alpha = \exp\left(\bar{x} + \left(\frac{0.5772}{2.675}\right)\right)$$

$$\alpha = 45.167$$

Los resultados obtenidos para los parámetros iniciales de las máquinas troqueladoras se muestran en la siguiente Tabla.

**Tabla 6.** Parámetros iniciales para las máquinas troqueladoras.

<b>Media (<math>\bar{x}</math>)</b>	3,595
<b>Varianza (<math>S^2</math>)</b>	0,230
<b>Desviación (S)</b>	0,4794
<b>Beta</b>	2,675
<b>Alpha</b>	45,167
<b>Gamma</b>	0
<b>R(t)</b>	0,718
<b>F(t)</b>	0,282

Con los parámetros iniciales calculados se procede a obtener la fiabilidad y la probabilidad de fallo de las maquinas troqueladoras

(Ecuación 13)

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

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{40 - 0}{45,167}\right)^{\frac{1}{2,675}}\right]$$

$$R(t) = 0.718 \cong 71.8 \%$$

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

$$F(t) = 1 - 0.718$$

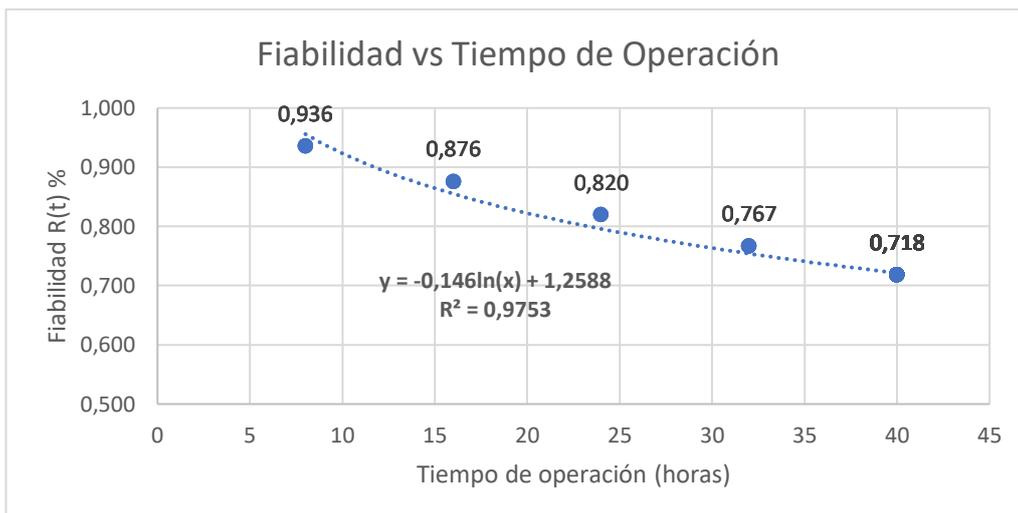
$$F(t) = 0.282 \cong 28.2 \%$$

**Tabla 7:** Hoja de cálculo de la fiabilidad de Weibull.

Actividad	Número de Falla	To (h)	ln(t)	(ln(t)-x)^2	R(t)	R(t) %	F(t)	F(t) %
1	0	40	3,689	0,009	0,718	0,718	0,282	0,282
2	1	40	3,689	0,009	0,718	0,718	0,282	0,282
3	1	40	3,689	0,009	0,718	0,718	0,282	0,282
4	1	40	3,689	0,009	0,718	0,718	0,282	0,282
5	1	8	2,079	2,296	0,936	0,936	0,064	0,064
6	1	32	3,466	0,017	0,767	0,767	0,233	0,233
7	1	40	3,689	0,009	0,718	0,718	0,282	0,282
8	1	40	3,689	0,009	0,718	0,718	0,282	0,282
9	1	40	3,689	0,009	0,718	0,718	0,282	0,282
10	1	32	3,466	0,017	0,767	0,767	0,233	0,233
11	1	40	3,689	0,009	0,718	0,718	0,282	0,282
12	1	40	3,689	0,009	0,718	0,718	0,282	0,282
13	1	40	3,689	0,009	0,718	0,718	0,282	0,282
14	1	32	3,466	0,017	0,767	0,767	0,233	0,233
15	1	8	2,079	2,296	0,936	0,936	0,064	0,064
16	1	40	3,689	0,009	0,718	0,718	0,282	0,282
17	1	40	3,689	0,009	0,718	0,718	0,282	0,282
18	1	40	3,689	0,009	0,718	0,718	0,282	0,282
19	1	40	3,689	0,009	0,718	0,718	0,282	0,282
20	1	40	3,689	0,009	0,718	0,718	0,282	0,282
21	1	40	3,689	0,009	0,718	0,718	0,282	0,282
22	1	40	3,689	0,009	0,718	0,718	0,282	0,282
23	1	32	3,466	0,017	0,767	0,767	0,233	0,233
24	1	16	2,773	0,676	0,876	0,876	0,124	0,124
25	1	24	3,178	0,174	0,820	0,820	0,180	0,180
26	1	40	3,689	0,009	0,718	0,718	0,282	0,282
27	1	40	3,689	0,009	0,718	0,718	0,282	0,282
28	1	40	3,689	0,009	0,718	0,718	0,282	0,282
29	1	32	3,466	0,017	0,767	0,767	0,233	0,233
30	1	8	2,079	2,296	0,936	0,936	0,064	0,064
31	1	40	3,689	0,009	0,718	0,718	0,282	0,282
32	1	40	3,689	0,009	0,718	0,718	0,282	0,282
33	1	40	3,689	0,009	0,718	0,718	0,282	0,282
34	1	40	3,689	0,009	0,718	0,718	0,282	0,282
35	1	40	3,689	0,009	0,718	0,718	0,282	0,282
36	1	40	3,689	0,009	0,718	0,718	0,282	0,282

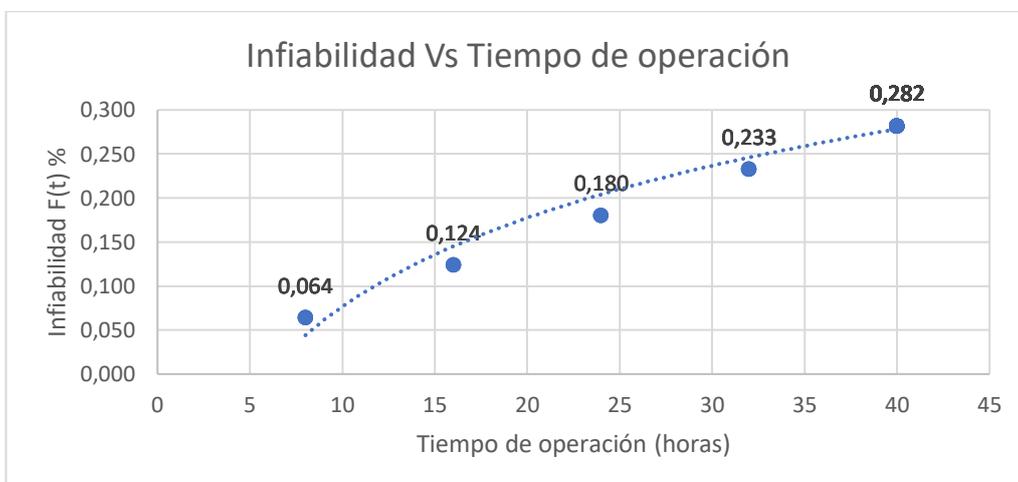
Actividad	Número de Falla	To (h)	ln(t)	(ln(t)-x)^2	R(t)	R(t) %	F(t)	F(t) %
37	1	40	3,689	0,009	0,718	0,718	0,282	0,282
38	1	40	3,689	0,009	0,718	0,718	0,282	0,282
39	1	24	3,178	0,174	0,820	0,820	0,180	0,180
40	1	16	2,773	0,676	0,876	0,876	0,124	0,124
41	1	40	3,689	0,009	0,718	0,718	0,282	0,282
42	1	40	3,689	0,009	0,718	0,718	0,282	0,282
43	1	40	3,689	0,009	0,718	0,718	0,282	0,282
44	1	40	3,689	0,009	0,718	0,718	0,282	0,282
45	1	40	3,689	0,009	0,718	0,718	0,282	0,282
46	1	40	3,689	0,009	0,718	0,718	0,282	0,282
47	1	40	3,689	0,009	0,718	0,718	0,282	0,282
48	1	40	3,689	0,009	0,718	0,718	0,282	0,282
49	1	8	2,079	2,296	0,936	0,936	0,064	0,064
50	1	16	2,773	0,676	0,876	0,876	0,124	0,124
51	1	40	3,689	0,009	0,718	0,718	0,282	0,282
52	1	40	3,689	0,009	0,718	0,718	0,282	0,282
53	1	40	3,689	0,009	0,718	0,718	0,282	0,282
54	1	24	3,178	0,174	0,820	0,820	0,180	0,180
55	1	16	2,773	0,676	0,876	0,876	0,124	0,124
56	1	40	3,689	0,009	0,718	0,718	0,282	0,282
57	1	40	3,689	0,009	0,718	0,718	0,282	0,282
58	1	40	3,689	0,009	0,718	0,718	0,282	0,282
59	0	40	3,689	0,009	0,718	0,718	0,282	0,282
Suma ( $\Sigma$ )	57	Suma ( $\Sigma$ )	<b>204,893</b>	<b>12,872</b>				

Con los datos obtenidos en la Tabla 7 se trazó la curva de fiabilidad vs tiempo de operación que muestra cuan fiables son las máquinas conforme se varía su tiempo en el cual operan, del mismo modo con la in fiabilidad, para este caso los valores de fiabilidad se encuentran entre 71,18% y 93. 6%.



**Figura 13:** Gráfica de fiabilidad vs tiempo de operación para máquinas troqueladoras.

**Fuente:** Autor.



**Figura 14:** Gráfica de infiabilidad vs tiempo de operación para máquinas troqueladoras.

**Fuente:** Autor.

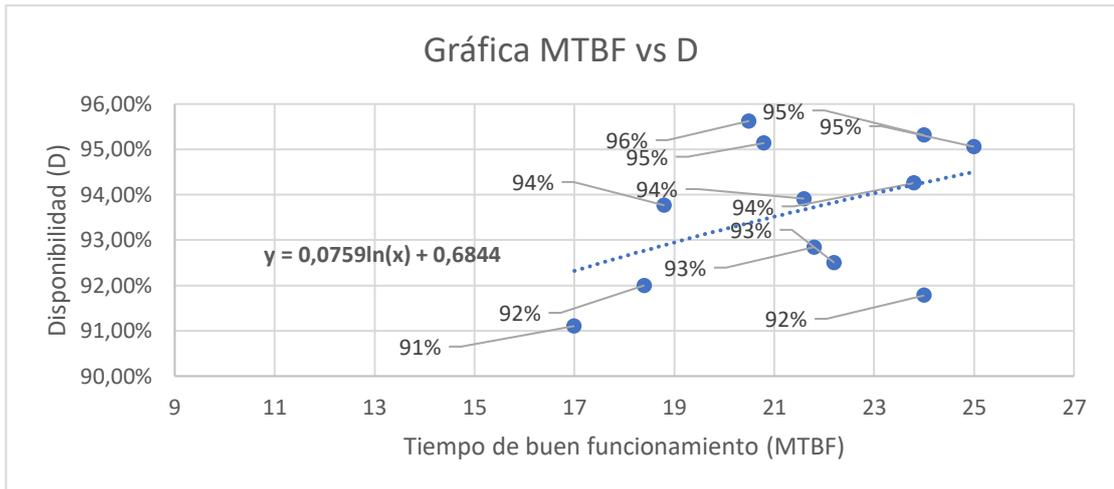
**Tabla 8:** Estadístico de mantenimiento del túnel Termoencogedor.

Máquina	Túnel Termoencogedor.				Código	MNT-TS-005					
Horas de Trabajo por día	8										
Mes	Actividades	Fecha	To (h)	TR (h)	TM (h)	TP (h)	MTBF (h)	$\lambda$	MTTR (h)	$\mu$	D (%)
ENERO	Inicio de actividades.	3/1/2021	10				20,8	0,048	1,063	0,941	95,14%
	Verificación de la máquina	10/1/2021	28	1	0,3	1,3					
	Inspección de componentes eléctricos	17/1/2021	32	1,5	0,25	1,75					
	Revisión de banda transportadora	24/1/2021	30	0,5	0,25	0,75					
	Revisión de luces piloto y componentes electrónicos	31/1/2021	4	1,25	0,25	1,5					
FEBRERO	Limpieza superficial	1/2/2021	16	0,75	0,5	1,25	20,5	0,049	0,938	1,067	95,63%
	Limpieza de residuos de plástico	7/2/2021	20	0,5	0,5	1					
	Verificación de componentes electrónicos	14/2/2021	21	1,5	0,35	1,85					
	Revisión de mandos de accionamiento	21/2/2021	25	1	0,25	1,25					
MARZO	Revisión de temperatura	2/3/2021	18	0,5	0,25	0,75	25,000	0,040	1,300	0,769	95,06%
	Revisión de motor de accionamiento	7/3/2021	22	1,25	0,3	1,55					
	Verificación de sistema de piñones	14/3/2021	25	1,25	0,35	1,6					
	Revisión de cadenas	21/3/2021	36	1,5	0,1	1,6					
	Revisión de rodamientos	28/3/2021	24	2	0,25	2,25					

Máquina	Túnel Termoencogedor.						Código	MNT-TS-005				
Horas de Trabajo por día	8											
Mes	Actividades	Fecha	To (h)	TR (h)	TM (h)	TP (h)	MTBF (h)	$\lambda$	MTTR (h)	$\mu$	D (%)	
ABRIL	Revisión de estado de ventiladores	1/4/2021	4	1,5	0,3	1,8	24,000	0,042	1,180	0,847	95,31%	
	Revisión de cubiertas de seguridad	4/4/2021	36	0,4	0,35	0,75						
	Comprobación de velocidad de transportación	11/4/2021	35	0,5	0,22	0,72						
	Verificación de niquelinas	18/4/2021	25	2,5	0,25	2,75						
	Revisión de panel de visualización	25/4/2021	20	1	0,5	1,5						
MAYO	Calibración de control de temperatura	2/5/2021	22	1,25	0,5	1,75	21,600	0,046	1,400	0,714	93,91%	
	Verificación de control de operación	9/5/2021	31	1	0,5	1,5						
	Verificación del sistema de seguridad	16/5/2021	20	1	0,4	1,4						
	Revisión de sistema eléctrico	23/5/2021	27	2,25	0,6	2,85						
	Calibración de velocidad	30/5/2021	8	1,5	0,25	1,75						
JUNIO	Lubricación de piñones	1/6/2021	12	2	1	3	18,800	0,053	1,250	0,800	93,77%	
	Lubricación de cadenas	6/6/2021	24	1,25	0,25	1,5						
	Verificar soldadura en componentes electrónicos	13/6/2021	21	1,25	0,3	1,55						
	Ajuste general de la máquina	20/6/2021	19	1	0,5	1,5						
	Lubricación del motor de accionamiento	27/6/2021	18	0,75	0,75	1,5						

Máquina	Túnel Termoecogedor.						Código	MNT-TS-005				
Horas de Trabajo por día	8											
Mes	Actividades	Fecha	To (h)	TR (h)	TM (h)	TP (h)	MTBF (h)	$\lambda$	MTTR (h)	$\mu$	D (%)	
JULIO	Reparación de niuelinas	1/7/2021	4	2,5	0,6	3,1	18,400	0,054	1,600	0,625	92,00%	
	Verificación de cableado en mal estado	4/7/2021	5	1,75	0,45	2,2						
	Verificación de componente electrónicos en mal estado	11/7/2021	25	1,5	0,3	1,8						
	Ajuste de tornillos	18/7/2021	36	1	0,45	1,45						
	Ajuste de cadena	25/7/2021	22	1,25	0,2	1,45						
AGOSTO	Cambio de contactores y finales de carrera	1/8/2021	16	2,5	0,5	3	21,800	0,046	1,680	0,595	92,84%	
	Revisión de cableado defectuoso	8/8/2021	18	1	0,25	1,25						
	Cambio de cableado defectuoso	15/8/2021	23	1,5	0,75	2,25						
	Cambio de luces piloto y órganos de mando	22/8/2021	25	2,4	0,25	2,65						
	Limpieza de residuos del interior	29/8/2021	27	1	0,65	1,65						
SEPTIEMBRE	Lubricación de guías	1/9/2021	8	1,25	0,5	1,75	23,800	0,042	1,450	0,690	94,26%	
	Cambio de rodamientos	5/9/2021	32	2,5	0,5	3						
	Verificación de sistemas de accionamiento	12/9/2021	24	1,5	0,25	1,75						
	Lubricación de mecanismo cadena engrane	19/9/2021	26	1	0,5	1,5						
	Verificación de banda transportadora	26/9/2021	29	1	0,5	1,5						

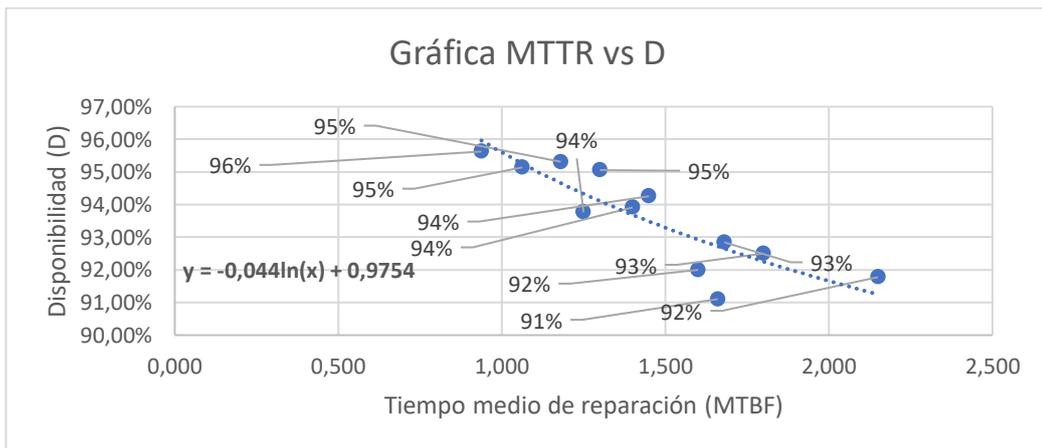
Máquina	Túnel Termoecogedor.				Código	MNT-TS-005					
Horas de Trabajo por día	8										
Mes	Actividades	Fecha	To (h)	TR (h)	TM (h)	TP (h)	MTBF (h)	$\lambda$	MTTR (h)	$\mu$	D (%)
OCTUBRE	Cambio de engranajes defectuosos	3/10/2021	18	1,8	0,5	2,3	17,000	0,059	1,660	0,602	91,10%
	Limpieza general de la máquina	10/10/2021	24	2	0,75	2,75					
	Cambio de niquelinas	17/10/2021	15	1,5	0,35	1,85					
	Lubricación del mecanismo de banda transportadora	24/10/2021	24	1,75	0,6	2,35					
	Ajuste de tornillos flojos	31/10/2021	4	1,25	0,75	2					
NOVIEMBRE	Recalibración de temperatura	1/11/2021	12	2	0,75	2,75	22,200	0,045	1,800	0,556	92,50%
	Cambio de Escobillas del motor	7/11/2021	32	2,5	0,25	2,75					
	Cambio de accesorios eléctricos defectuosos	14/11/2021	24	1,5	0,35	1,85					
	Detección de tornillos defectuosos	21/11/2021	27	1,5	0,25	1,75					
	Cambio de cadena	28/11/2021	16	1,5	0,5	2					
DICIEMBRE	Verificación de temperatura	1/12/2021	10	1	0,35	1,35	24,000	0,042	2,150	0,465	91,78%
	Calibración General de la máquina	5/12/2021	24	2,5	0,5	3					
	Limpieza general de la máquina	12/12/2021	32	2,5	0,25	2,75					
	Reemplazo de elementos en mal estado	19/12/2021	36	2,6	0,15	2,75					
	Cierre de actividades	26/12/2021	18			0					
<b>TOTALES</b>			<b>1269</b>	<b>83,2</b>	<b>23,52</b>	<b>106,7</b>	<b>257,9</b>	<b>0,566</b>	<b>17,47</b>	<b>8,6718</b>	<b>1123,30%</b>
<b>PROMEDIOS</b>			<b>21,51</b>	<b>1,46</b>	<b>0,41</b>	<b>1,84</b>	<b>21,49</b>	<b>0,05</b>	<b>1,46</b>	<b>0,72</b>	<b>93,608%</b>



**Figura 15:** Gráfica MTBF vs D para túnel termoencogedor.

**Fuente:** Autor.

En la Figura 15 se puede apreciar que la disponibilidad máxima del túnel termoencogedor es de 95,31% para un tiempo de buen funcionamiento de 24 horas semanales, todos los datos se encuentran dispersos por tal motivo se encontró un coeficiente de correlación  $R^2$  de 0,195 el punto mínimo de disponibilidad corresponde a 91,10% para un tiempo de buen funcionamiento de 17 horas



**Figura 16:** Gráfica MTTR vs D para túnel termoencogedor

**Fuente:** Autor.

En la Figura 16 se puede apreciar que la disponibilidad máxima del túnel termoencogedor es de 95,63 % para un tiempo de reparación de 1,18 horas, existe relación entre los datos presentados por tal motivo se encontró un coeficiente de correlación  $R^2$  de 0,7588 el punto mínimo de disponibilidad corresponde a 91,1% para un tiempo de reparación de 1,66 horas.

### Modelo matemático de Weibull para el túnel termoencogedor.

Se calcula la probabilidad de fallo y la fiabilidad del túnel termoencogedor partiendo de las actividades descritas en el estadístico desarrollado, asumiendo que se tiene un fallo por cada actividad.

Los parámetros calculados se muestran en la Tabla 9.

Estimación de la media.

Se utilizó el dato de sumatoria de  $\ln (T_o)$  obtenido en la hoja de cálculo de la Tabla 9 para calcular la media mediante la siguiente ecuación:

(Ecuación 8)

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n \ln (T_o)}{n}$$
$$\bar{x} = \frac{173.569}{57}$$
$$\bar{x} = 3,045$$

Varianza.

(Ecuación 9)

$$S^2 = \frac{(173.569)^2}{57 - 1}$$
$$S^2 = 0.362$$

Desviación estándar.

(Ecuación 10)

$$S = \sqrt{S^2}$$
$$S = \sqrt{0.362}$$
$$S = 0.6014$$

Parámetros para la ecuación de Weibull.

Coficiente Beta.

(Ecuación 11)

$$\beta = \frac{\pi}{S\sqrt{6}}$$
$$\beta = \frac{\pi}{0.6014\sqrt{6}}$$

$$\beta = 2.133$$

Coeficiente alfa.

(Ecuación 12)

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

$$\alpha = \exp\left(3.045 + \left(\frac{0.5772}{2.133}\right)\right)$$

$$\alpha = 27.542$$

Los resultados obtenidos para los parámetros iniciales de las máquinas troqueladoras se muestran en la siguiente Tabla.

**Tabla 9:** Parámetros iniciales para el túnel termoencogedor

<b>Media (<math>\bar{x}</math>)</b>	3,045
<b>Varianza (<math>S^2</math>)</b>	0,362
<b>Desviación (S)</b>	0,6014
<b>Beta</b>	2,133
<b>Alpha</b>	27,542
<b>Gamma</b>	0
<b>R(t)</b>	0,843
<b>F(t)</b>	0,157

Con los parámetros iniciales calculados se procede a obtener la fiabilidad y la probabilidad de fallo de las maquinas troqueladoras

(Ecuación 13)

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

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{40 - 0}{27.542}\right)^{\frac{1}{2.133}}\right]$$

$$R(t) = 0.843 \cong 84.3 \%$$

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

$$F(t) = 1 - 0.843$$

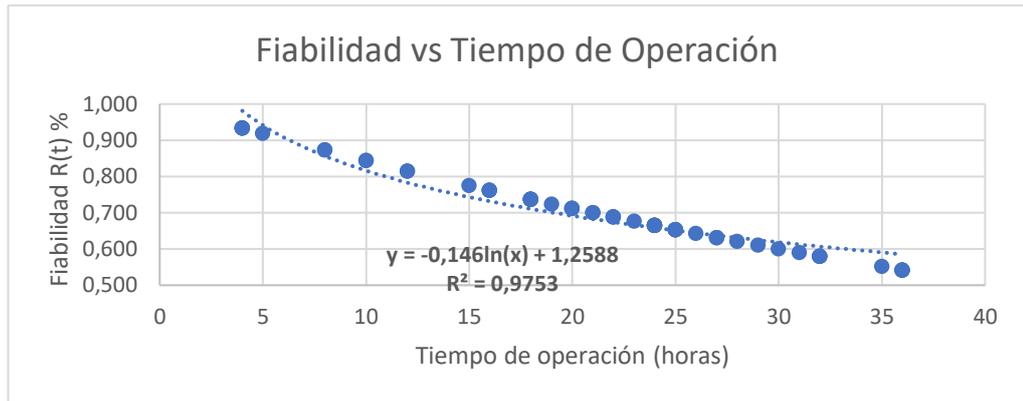
$$F(t) = 0.157 \cong 15.7 \%$$

**Tabla 10:** Cálculo de la fiabilidad de Weibull para el túnel termoecogedor.

Actividad	Número de Falla	To (h)	ln(t)	$(\ln(t)-x)^2$	R(t)	R(t) %	F(t)	F(t) %
1	0	10	2,303	0,551	0,843	0,843	0,157	0,157
2	1	28	3,332	0,082	0,621	0,621	0,379	0,379
3	1	32	3,466	0,177	0,580	0,580	0,420	0,420
4	1	30	3,401	0,127	0,600	0,600	0,400	0,400
5	1	4	1,386	2,752	0,934	0,934	0,066	0,066
6	1	16	2,773	0,074	0,762	0,762	0,238	0,238
7	1	20	2,996	0,002	0,711	0,711	0,289	0,289
8	1	21	3,045	0,000	0,699	0,699	0,301	0,301
9	1	25	3,219	0,030	0,653	0,653	0,347	0,347
10	1	18	2,890	0,024	0,736	0,736	0,264	0,264
11	1	22	3,091	0,002	0,688	0,688	0,312	0,312
12	1	25	3,219	0,030	0,653	0,653	0,347	0,347
13	1	36	3,584	0,290	0,542	0,542	0,458	0,458
14	1	24	3,178	0,018	0,665	0,665	0,335	0,335
15	1	4	1,386	2,752	0,934	0,934	0,066	0,066
16	1	36	3,584	0,290	0,542	0,542	0,458	0,458
17	1	35	3,555	0,260	0,551	0,551	0,449	0,449
18	1	25	3,219	0,030	0,653	0,653	0,347	0,347
19	1	20	2,996	0,002	0,711	0,711	0,289	0,289
20	1	22	3,091	0,002	0,688	0,688	0,312	0,312
21	1	31	3,434	0,151	0,590	0,590	0,410	0,410
22	1	20	2,996	0,002	0,711	0,711	0,289	0,289
23	1	27	3,296	0,063	0,632	0,632	0,368	0,368
24	1	8	2,079	0,932	0,873	0,873	0,127	0,127
25	1	12	2,485	0,314	0,815	0,815	0,185	0,185
26	1	24	3,178	0,018	0,665	0,665	0,335	0,335
27	1	21	3,045	0,000	0,699	0,699	0,301	0,301
28	1	19	2,944	0,010	0,724	0,724	0,276	0,276
29	1	18	2,890	0,024	0,736	0,736	0,264	0,264
30	1	4	1,386	2,752	0,934	0,934	0,066	0,066
31	1	5	1,609	2,061	0,918	0,918	0,082	0,082
32	1	25	3,219	0,030	0,653	0,653	0,347	0,347
33	1	36	3,584	0,290	0,542	0,542	0,458	0,458
34	1	22	3,091	0,002	0,688	0,688	0,312	0,312

Actividad	Número de Falla	To (h)	ln(t)	(ln(t)-x)^2	R(t)	R(t) %	F(t)	F(t) %
0'35	1	16	2,773	0,074	0,762	0,762	0,238	0,238
36	1	18	2,890	0,024	0,736	0,736	0,264	0,264
37	1	23	3,135	0,008	0,676	0,676	0,324	0,324
38	1	25	3,219	0,030	0,653	0,653	0,347	0,347
39	1	27	3,296	0,063	0,632	0,632	0,368	0,368
40	1	8	2,079	0,932	0,873	0,873	0,127	0,127
41	1	32	3,466	0,177	0,580	0,580	0,420	0,420
42	1	24	3,178	0,018	0,665	0,665	0,335	0,335
43	1	26	3,258	0,045	0,642	0,642	0,358	0,358
44	1	29	3,367	0,104	0,610	0,610	0,390	0,390
45	1	18	2,890	0,024	0,736	0,736	0,264	0,264
46	1	24	3,178	0,018	0,665	0,665	0,335	0,335
47	1	15	2,708	0,114	0,775	0,775	0,225	0,225
48	1	24	3,178	0,018	0,665	0,665	0,335	0,335
49	1	4	1,386	2,752	0,934	0,934	0,066	0,066
50	1	12	2,485	0,314	0,815	0,815	0,185	0,185
51	1	32	3,466	0,177	0,580	0,580	0,420	0,420
52	1	24	3,178	0,018	0,665	0,665	0,335	0,335
53	1	27	3,296	0,063	0,632	0,632	0,368	0,368
54	1	16	2,773	0,074	0,762	0,762	0,238	0,238
55	1	10	2,303	0,551	0,843	0,843	0,157	0,157
56	1	24	3,178	0,018	0,665	0,665	0,335	0,335
57	1	32	3,466	0,177	0,580	0,580	0,420	0,420
58	1	36	3,584	0,290	0,542	0,542	0,458	0,458
59	0	18	2,890	0,024	0,736	0,736	0,264	0,264
Suma ( $\Sigma$ )	57	Suma ( $\Sigma$ )	<b>173,569</b>	<b>20,251</b>				

Con los datos obtenidos en la Tabla 10 se trazó la curva de fiabilidad vs tiempo de operación que muestra cuan fiables son las máquinas conforme se varía su tiempo en el cual operan, del mismo modo con la infiabilidad, para este caso los valores de fiabilidad se encuentran entre 54,2% y 93,4 %.



**Figura 17:** Gráfica de fiabilidad vs tiempo de operación para el túnel termoecogedor.

**Fuente:** Autor.



**Figura 18:** Gráfica de infiabilidad vs tiempo de operación para el túnel termoecogedor.

**Fuente:** Autor.

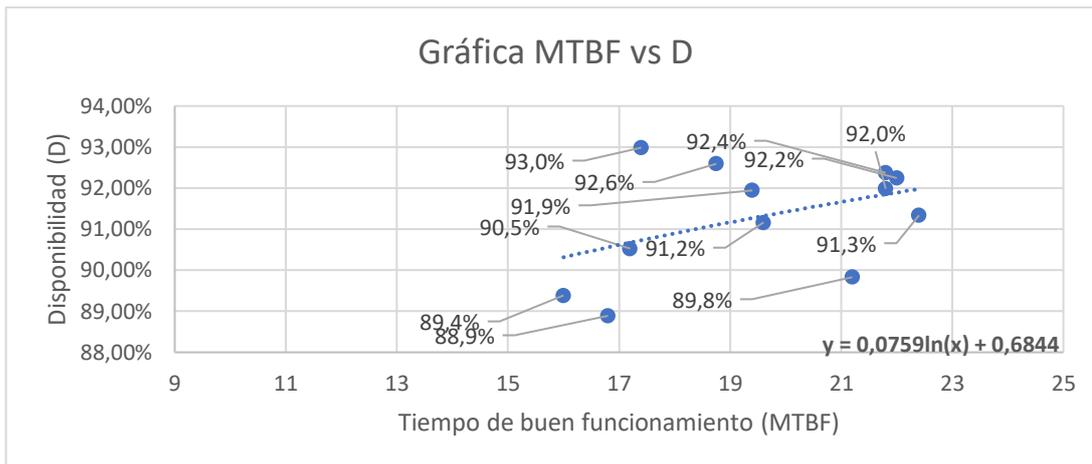
**Tabla 11:** Estadístico de mantenimiento de la cortadora de simbra.

Máquina	Cortadora de simbra				Código	MNT-COR-001					
Horas de Trabajo por día	8										
Mes	Actividades	Fecha	To (h)	TR (h)	TM (h)	TP (h)	MTBF (h)	$\lambda$	MTTR (h)	$\mu$	D (%)
ENERO	Inicio de actividades.	3/1/2021	8								
	Verificación de la máquina	10/1/2021	24	1	0,75	1,75	17,4	0,057	1,313	0,762	92,99%
	Inspección general de la máquina	17/1/2021	23	1,5	2	3,5					
	Revisión de sistema eléctrico	24/1/2021	29	0,75	0,5	1,25					
	Revisión de bandas	31/1/2021	3	2	1,5	3,5					
FEBRERO	Limpieza superficial	1/2/2021	15	2	1	3	18,75	0,053	1,500	0,667	92,59%
	Remoción de residuos	7/2/2021	18	1,25	1,5	2,75					
	Verificación de componentes de accionamiento	14/2/2021	20	1,5	1	2,5					
	Revisión de mecanismos	21/2/2021	22	1,25	1	2,25					
MARZO	Revisión de mangueras	2/3/2021	17	2,5	2	4,5	22,000	0,045	1,850	0,541	92,24%
	Revisión de unidad de mantenimiento neumática	7/3/2021	20	1,5	1,25	2,75					
	Verificación de sistema de piñones	14/3/2021	18	2	1,5	3,5					
	Revisión de poleas	21/3/2021	30	1,75	0,5	2,25					
	Revisión de la estructura de la máquina	28/3/2021	25	1,5	1,25	2,75					

Máquina	Cortadora de simbra					Código	MNT-COR-001				
Horas de Trabajo por día	8										
Mes	Actividades	Fecha	To (h)	TR (h)	TM (h)	TP (h)	MTBF (h)	$\lambda$	MTTR (h)	$\mu$	D (%)
ABRIL	Comprobación de nivelación de las máquinas	1/4/2021	4	2	1,5	3,5	19,400	0,052	1,700	0,588	91,94%
	Revisión de cubiertas de seguridad	4/4/2021	30	1,5	0,3	1,8					
	Comprobación de cizallas	11/4/2021	25	1,5	0,5	2					
	Revisión del sistema neumático	18/4/2021	20	2,5	2	4,5					
	Revisión del sistema de alimentación de alambre	25/4/2021	18	1	1,5	2,5					
MAYO	Verificación de la presión de aire	2/5/2021	21	1,5	1	2,5	21,800	0,046	1,800	0,556	92,37%
	Verificación de control de operación	9/5/2021	28	1,25	1,5	2,75					
	Verificación del compresor	16/5/2021	18	2	1,5	3,5					
	Revisión de humedad del aire	23/5/2021	32	1,5	1	2,5					
	Calibración de velocidad de alimentación	30/5/2021	10	2,75	2	4,75					
JUNIO	Lubricación de piñones	1/6/2021	10	2,5	3	5,5	17,200	0,058	1,800	0,556	90,53%
	Lubricación de poleas	6/6/2021	22	2	2	4					
	Cambio de correas defectuosas	13/6/2021	19	1,5	1	2,5					
	Verificación de conectores	20/6/2021	18	1,5	1,25	2,75					
	Verificación de mangueras neumáticas	27/6/2021	17	1,5	1	2,5					

Máquina	Cortadora de simbra					Código	MNT-COR-001				
Horas de Trabajo por día	8										
Mes	Actividades	Fecha	To (h)	TR (h)	TM (h)	TP (h)	MTBF (h)	$\lambda$	MTTR (h)	$\mu$	D (%)
JULIO	Ajuste de conectores	1/7/2021	3	3	2	5	16,000	0,063	1,900	0,526	89,39%
	Ajuste de bandas	4/7/2021	4	2,5	2	4,5					
	Verificación de presión	11/7/2021	22	1,5	1,5	3					
	Ajuste de tornillos	18/7/2021	30	1	1	2					
	Ajuste de caja de engranes	25/7/2021	21	1,5	1,5	3					
AGOSTO	Cambio de componentes del sistema eléctrico	1/8/2021	18	2	2,5	4,5	19,600	0,051	1,900	0,526	91,16%
	Revisión de cableado defectuoso	8/8/2021	17	2	1,5	3,5					
	Cambio de cableado defectuoso	15/8/2021	22	1,5	3	4,5					
	Cambio de luces piloto y componentes de mando	22/8/2021	21	1,5	1	2,5					
	Limpieza de residuos	29/8/2021	20	2,5	2,5	5					
SEPTIEMBRE	Lubricación de unidad de mantenimiento	1/9/2021	6	2	1,5	3,5	21,200	0,047	2,400	0,417	89,83%
	Cambio de mangueras defectuosas	5/9/2021	29	3,5	3,5	7					
	Verificación de sistemas de accionamiento	12/9/2021	22	1,5	1	2,5					
	Lubricación de mecanismos	19/9/2021	24	2	2,5	4,5					
	Verificación de rodillos del sistema de alimentación	26/9/2021	25	3	1,5	4,5					

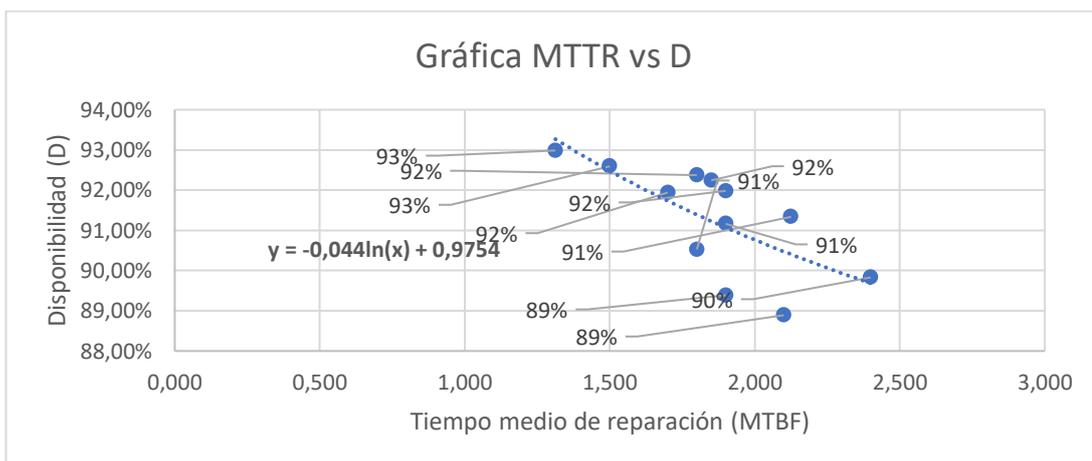
Máquina	Cortadora de simbra					Código	MNT-COR-001				
Horas de Trabajo por día	8										
Mes	Actividades	Fecha	To (h)	TR (h)	TM (h)	TP (h)	MTBF (h)	$\lambda$	MTTR (h)	$\mu$	D (%)
OCTUBRE	Cambio de engranajes defectuosos	3/10/2021	20	2	2	4	16,800	0,060	2,100	0,476	88,89%
	Limpieza general de la máquina	10/10/2021	22	4	4	8					
	Cambio de conectores neumáticos defectuosos	17/10/2021	16	1,5	1,5	3					
	Limpieza de unidad de mantenimiento	24/10/2021	20	2	2	4					
	Mantenimiento general del motor	31/10/2021	6	1	1	2					
NOVIEMBRE	Calibración de fuerza de corte	1/11/2021	10	2,5	3	5,5	21,800	0,046	1,900	0,526	91,98%
	Revisión de electroválvula	7/11/2021	29	1,5	2	3,5					
	Cambio de electroválvulas defectuosas	14/11/2021	25	1	1,5	2,5					
	Detección de tornillos defectuosos	21/11/2021	28	2	2	4					
	Cambio de bandas	28/11/2021	17	2,5	2	4,5					
DICIEMBRE	Verificación de presión de servicio	1/12/2021	12	2,5	1,5	4	22,400	0,045	2,125	0,471	91,34%
	Calibración General de la máquina	5/12/2021	22	2	2,5	4,5					
	Limpieza general de la máquina	12/12/2021	29	2	3	5					
	Reemplazo de elementos en mal estado	19/12/2021	32	2	3	5					
	Cierre de actividades	26/12/2021	17			0					
<b>TOTALES</b>			<b>1153</b>	<b>106,5</b>	<b>96,3</b>	<b>202,8</b>	<b>234,35</b>	<b>0,62</b>	<b>22,288</b>	<b>6,611</b>	<b>1095,25%</b>
<b>PROMEDIOS</b>			<b>19,54</b>	<b>1,87</b>	<b>1,69</b>	<b>3,50</b>	<b>19,53</b>	<b>0,05</b>	<b>1,86</b>	<b>0,55</b>	<b>91,271%</b>



**Figura 19:** Gráfica MTBF vs D para cortadora de simbra.

**Fuente:** Autor.

En la Figura 19 se puede apreciar que la disponibilidad máxima de la cortadora de simbra es de 92,99% para un tiempo de buen funcionamiento de 17,4 horas semanales, todos los datos se encuentran dispersos por tal motivo se encontró un coeficiente de correlación  $R^2$  de 0,196 el punto mínimo de disponibilidad corresponde a 88,89% para un tiempo de buen funcionamiento de 16,8 horas



**Figura 20:** Gráfica MTTR vs D para cortadora de simbra.

**Fuente:** Autor.

En la Figura 20 se puede apreciar que la disponibilidad máxima de las máquinas troqueladoras es de 92,99 % para un tiempo de reparación de 1,313 horas, existe relación entre los datos presentados por tal motivo se encontró un coeficiente de correlación  $R^2$  de 0,4939 el punto mínimo de disponibilidad corresponde a 88,89% para un tiempo de reparación de 2,1 horas.

### Modelo matemático de Weibull para la cortadora de simbra.

Se calcula la probabilidad de fallo y la fiabilidad de la cortadora de simbra partiendo de las actividades descritas en el estadístico desarrollado, asumiendo que se tiene un fallo por cada actividad.

Los parámetros calculados se muestran en la Tabla 12.

Estimación de la media.

Se utilizó el dato de sumatoria de  $\ln (T_o)$  obtenido en la hoja de cálculo de la Tabla 9 para calcular la media mediante la siguiente ecuación:

(Ecuación 8)

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

$$\bar{x} = \frac{168,34}{57}$$

$$\bar{x} = 2,953$$

Varianza.

(Ecuación 9)

$$S^2 = \frac{(168,34)^2}{57 - 1}$$

$$S^2 = 0.35$$

Desviación estándar

(Ecuación 10)

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

$$S = \sqrt{0.35}$$

$$S = 0.5919$$

Parámetros para la ecuación de Weibull.

Coefficiente Beta.

(Ecuación 11)

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

$$\beta = \frac{\pi}{0.5919\sqrt{6}}$$

$$\beta = 2.167$$

Coeficiente alfa.

(Ecuación 12)

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

$$\alpha = \exp\left(3.045 + \left(\frac{0.5772}{2.167}\right)\right)$$

$$\alpha = 25,02$$

Los resultados obtenidos para los parámetros iniciales de la cortadora de simbra se muestran en la siguiente Tabla 12.

**Tabla 12:** Parámetros iniciales para la cortadora de simbra

<b>Media (<math>\bar{x}</math>)</b>	2,953
<b>Varianza (<math>S^2</math>)</b>	0,350
<b>Desviación (S)</b>	0,5919
<b>Beta</b>	2,167
<b>Alpha</b>	25,020
<b>Gamma</b>	0
<b>R(t)</b>	0,863
<b>F(t)</b>	0,137

Con los parámetros iniciales calculados se procede a obtener la fiabilidad y la probabilidad de fallo de la cortadora de simbra

(Ecuación 13)

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

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{8 - 0}{25,020}\right)^{\frac{1}{2.167}}\right]$$

$$R(t) = 0.86282 \cong 86.282 \%$$

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

$$F(t) = 1 - 0.86282$$

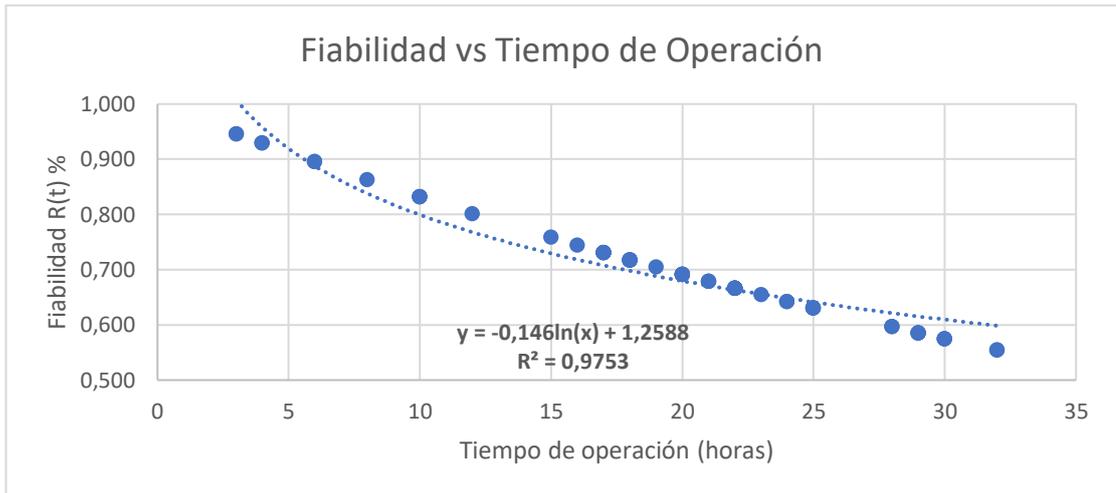
$$F(t) = 0.13718 \cong 13.718 \%$$

**Tabla 13:** Cálculo del modelo matemático de Weibull para la cortadora de simbra.

Actividad	Número de Falla	To (h)	ln(t)	(ln(t)-x)^2	R(t)	R(t) %	F(t)	F(t) %
1	0	8	2,079	0,764	86,282%	0,863	0,137	13,718%
2	1	24	3,178	0,051	64,233%	0,642	0,358	35,767%
3	1	23	3,135	0,033	65,429%	0,654	0,346	34,571%
4	1	29	3,367	0,171	58,575%	0,586	0,414	41,425%
5	1	3	1,099	3,440	94,617%	0,946	0,054	5,383%
6	1	15	2,708	0,060	75,832%	0,758	0,242	24,168%
7	1	18	2,890	0,004	71,750%	0,717	0,283	28,250%
8	1	20	2,996	0,002	69,151%	0,692	0,308	30,849%
9	1	22	3,091	0,019	66,647%	0,666	0,334	33,353%
10	1	17	2,833	0,014	73,085%	0,731	0,269	26,915%
11	1	20	2,996	0,002	69,151%	0,692	0,308	30,849%
12	1	18	2,890	0,004	71,750%	0,717	0,283	28,250%
13	1	30	3,401	0,201	57,504%	0,575	0,425	42,496%
14	1	25	3,219	0,071	63,060%	0,631	0,369	36,940%
15	1	4	1,386	2,456	92,888%	0,929	0,071	7,112%
16	1	30	3,401	0,201	57,504%	0,575	0,425	42,496%
17	1	25	3,219	0,071	63,060%	0,631	0,369	36,940%
18	1	20	2,996	0,002	69,151%	0,692	0,308	30,849%
19	1	18	2,890	0,004	71,750%	0,717	0,283	28,250%
20	1	21	3,045	0,008	67,888%	0,679	0,321	32,112%
21	1	28	3,332	0,144	59,665%	0,597	0,403	40,335%
22	1	18	2,890	0,004	71,750%	0,717	0,283	28,250%
23	1	32	3,466	0,263	55,422%	0,554	0,446	44,578%
24	1	10	2,303	0,423	83,157%	0,832	0,168	16,843%
25	1	10	2,303	0,423	83,157%	0,832	0,168	16,843%
26	1	22	3,091	0,019	66,647%	0,666	0,334	33,353%
27	1	19	2,944	0,000	70,439%	0,704	0,296	29,561%
28	1	18	2,890	0,004	71,750%	0,717	0,283	28,250%
29	1	17	2,833	0,014	73,085%	0,731	0,269	26,915%
30	1	3	1,099	3,440	94,617%	0,946	0,054	5,383%
31	1	4	1,386	2,456	92,888%	0,929	0,071	7,112%
32	1	22	3,091	0,019	66,647%	0,666	0,334	33,353%
33	1	30	3,401	0,201	57,504%	0,575	0,425	42,496%
34	1	21	3,045	0,008	67,888%	0,679	0,321	32,112%
35	1	18	2,890	0,004	71,750%	0,717	0,283	28,250%
36	1	17	2,833	0,014	73,085%	0,731	0,269	26,915%

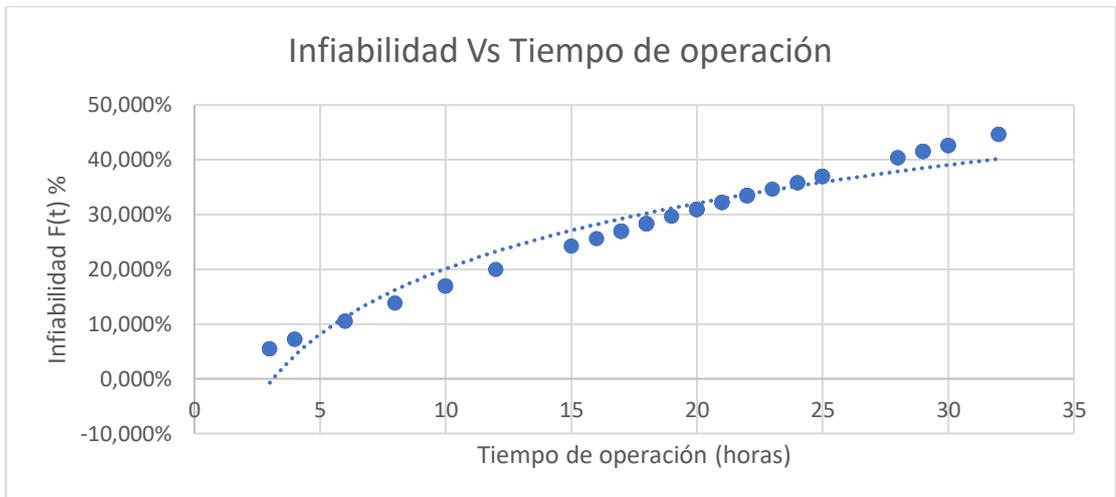
Actividad	Número de Falla	To (h)	ln(t)	(ln(t)-x)^2	R(t)	R(t) %	F(t)	F(t) %
37	1	22	3,091	0,019	66,647%	0,666	0,334	33,353%
38	1	21	3,045	0,008	67,888%	0,679	0,321	32,112%
39	1	20	2,996	0,002	69,151%	0,692	0,308	30,849%
40	1	6	1,792	1,349	89,524%	0,895	0,105	10,476%
41	1	29	3,367	0,171	58,575%	0,586	0,414	41,425%
42	1	22	3,091	0,019	66,647%	0,666	0,334	33,353%
43	1	24	3,178	0,051	64,233%	0,642	0,358	35,767%
44	1	25	3,219	0,071	63,060%	0,631	0,369	36,940%
45	1	20	2,996	0,002	69,151%	0,692	0,308	30,849%
46	1	22	3,091	0,019	66,647%	0,666	0,334	33,353%
47	1	16	2,773	0,033	74,446%	0,744	0,256	25,554%
48	1	20	2,996	0,002	69,151%	0,692	0,308	30,849%
49	1	6	1,792	1,349	89,524%	0,895	0,105	10,476%
50	1	10	2,303	0,423	83,157%	0,832	0,168	16,843%
51	1	29	3,367	0,171	58,575%	0,586	0,414	41,425%
52	1	25	3,219	0,071	63,060%	0,631	0,369	36,940%
53	1	28	3,332	0,144	59,665%	0,597	0,403	40,335%
54	1	17	2,833	0,014	73,085%	0,731	0,269	26,915%
55	1	12	2,485	0,219	80,146%	0,801	0,199	19,854%
56	1	22	3,091	0,019	66,647%	0,666	0,334	33,353%
57	1	29	3,367	0,171	58,575%	0,586	0,414	41,425%
58	1	32	3,466	0,263	55,422%	0,554	0,446	44,578%
59	0	17	2,833	0,014	73,085%	0,731	0,269	26,915%
Suma ( $\Sigma$ )	57	Suma ( $\Sigma$ )	<b>168,340</b>	<b>19,616</b>				

Con los datos obtenidos en la Tabla 13 se trazó la curva de fiabilidad vs tiempo de operación que muestra cuan fiables son las máquinas conforme se varía su tiempo en el cual operan, del mismo modo con la infiability, para este caso los valores de fiabilidad se encuentran entre 55,4% y 94,6%.



**Figura 21:** Gráfica Fiabilidad vs tiempo de operación para cortadora de simbra.

**Fuente:** Autor.



**Figura 22:** Gráfica infiabilidad vs tiempo de operación para cortadora de simbra.

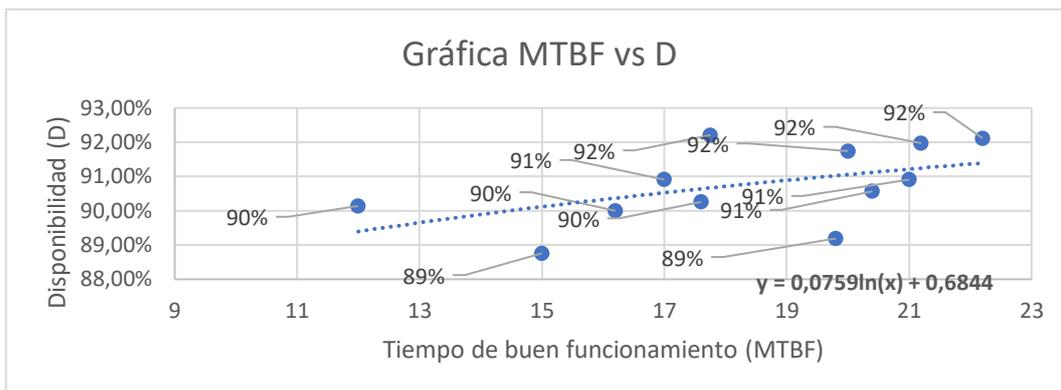
**Fuente:** Autor.

Máquina	Selladora de alta frecuencia						Código	MNT-AFRE-001				
Horas de Trabajo por día	8											
Mes	Actividades	Fecha	To (h)	TR (h)	TM (h)	TP (h)	MTBF (h)	$\lambda$	MTTR (h)	$\mu$	D (%)	
ENERO	Inicio de actividades.	3/1/2021	10				12	0,083	1,313	0,762	90,14%	
	Verificación de la máquina	10/1/2021	16	1	0,75	1,75						
	Inspección general de la máquina	17/1/2021	18	1,5	2	3,5						
	Revisión de sistema eléctrico y mecánico	24/1/2021	14	0,75	0,5	1,25						
	Revisión de sistema neumático	31/1/2021	2	2	1,5	3,5						
FEBRERO	Limpieza general de la máquina	1/2/2021	17	2	1	3	17,75	0,056	1,500	0,667	92,21%	
	Limpieza de residuos	7/2/2021	15	1,25	1,5	2,75						
	Verificación del sistema de accionamiento	14/2/2021	19	1,5	1	2,5						
	Revisión de ejes y guías	21/2/2021	20	1,25	1	2,25						
	Revisión de mangueras neumáticas	2/3/2021	18	2,5	2	4,5						21,200
Revisión de unidad de mantenimiento	7/3/2021	24	1,5	1,25	2,75							
Verificación de sistema generador de la alta frecuencia	14/3/2021	30	2	1,5	3,5							
Revisión de cavidad resonante	21/3/2021	20	1,75	0,5	2,25							
Revisión de Tubos Osciladores	28/3/2021	14	1,5	1,25	2,75							
ABRIL	Revisión del sistema de nivelación	1/4/2021	17	2	1,5	3,5	17,000	0,059	1,700	0,588	90,91%	
	Revisión de tornillos	4/4/2021	15	1,5	0,3	1,8						
	Verificación de electrodos	11/4/2021	20	1,5	0,5	2						
	Verificación de componentes del tablero de control	18/4/2021	19	2,5	2	4,5						

Máquina	Selladora de alta frecuencia						Código	MNT-AFRE-001				
Horas de Trabajo por día	8											
Mes	Actividades	Fecha	To (h)	TR (h)	TM (h)	TP (h)	MTBF (h)	$\lambda$	MTRR (h)	$\mu$	D (%)	
ABRIL	Comprobación de desgaste en bocines	25/4/2021	14	1	1,5	2,5						
MAYO	Revisión de mandos de accionamiento neumático	2/5/2021	23	1,5	1	2,5	20,000	0,050	1,800	0,556	91,74%	
	Revisión de placas soporte	9/5/2021	25	1,25	1,5	2,75						
	Limpieza de mesa de trabajo	16/5/2021	20	2	1,5	3,5						
	Lubricación de ejes guía	23/5/2021	19	1,5	1	2,5						
	Lubricación de cabezal guía	30/5/2021	13	2,75	2	4,75						
JUNIO	Cambio de tornillos defectuosos	1/6/2021	12	2,5	3	5,5	16,200	0,062	1,800	0,556	90,00%	
	Lubricación de unidad de mantenimiento	6/6/2021	19	2	2	4						
	Limpieza de electroválvulas	13/6/2021	18	1,5	1	2,5						
	Revisión de topes y bajadas	20/6/2021	17	1,5	1,25	2,75						
	Cambio de mangueras neumáticas defectuosas	27/6/2021	15	1,5	1	2,5						
JULIO	Identificación de acoples defectuosos	1/7/2021	4	3	2	5	15,000	0,067	1,900	0,526	88,76%	
	Ajuste de acoples defectuosos	4/7/2021	3	2,5	2	4,5						
	Lubricación y limpieza de cilindro neumático	11/7/2021	21	1,5	1,5	3						
	Ajuste de tornillos del sistema de nivelación	18/7/2021	28	1	1	2						
	Cambio de bocines	25/7/2021	19	1,5	1,5	3						

Máquina	Selladora de alta frecuencia						Código	MNT-AFRE-001				
Horas de Trabajo por día	8											
Mes	Actividades	Fecha	To (h)	TR (h)	TM (h)	TP (h)	MTBF (h)	$\lambda$	MTTR (h)	$\mu$	D (%)	
ABRIL	Comprobación de desgaste en bocines	25/4/2021	14	1	1,5	2,5						
AGOSTO	Cambio de componentes del sistema eléctrico	1/8/2021	17	2	2,5	4,5	17,600	0,057	1,900	0,526	90,26%	
	Revisión de cableado defectuoso	8/8/2021	19	2	1,5	3,5						
	Cambio de cableado defectuoso	15/8/2021	20	1,5	3	4,5						
	Verificación de componentes de la prensa	22/8/2021	17	1,5	1	2,5						
	Limpieza de residuos	29/8/2021	15	2,5	2,5	5						
SEPTIEMBRE	Lubricación de unidad de mantenimiento	1/9/2021	4	2	1,5	3,5	19,800	0,051	2,400	0,417	89,19%	
	Cambio de mangueras y accesorios	5/9/2021	23	3,5	3,5	7						
	Mantenimiento del tubo oscilador	12/9/2021	25	1,5	1	2,5						
	Mantenimiento de la cavidad resonante	19/9/2021	24	2	2,5	4,5						
	Calibración del sistema de sintonía	26/9/2021	23	3	1,5	4,5						
OCTUBRE	Cambio de componentes defectuosos	3/10/2021	19	2	2	4	21,000	0,048	2,100	0,476	90,91%	
	Limpieza general de la máquina	10/10/2021	18	4	4	8						
	Cambio de conectores neumáticos defectuosos	17/10/2021	29	1,5	1,5	3						
	Lubricación de componentes	24/10/2021	31	2	2	4						
	Mantenimiento de la placa porta electrodos	31/10/2021	8	1	1	2						

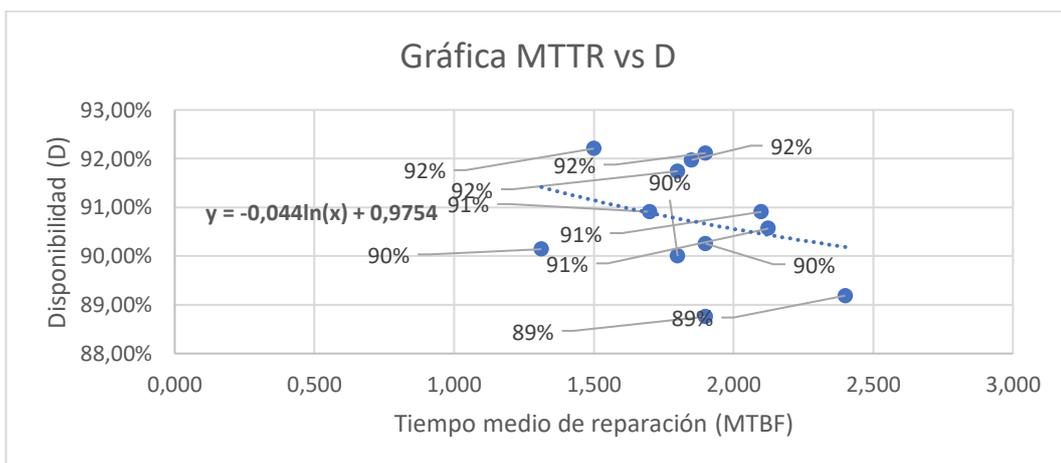
Máquina	Selladora de alta frecuencia					Código	MNT-AFRE-001				
Horas de Trabajo por día	8										
Mes	Actividades	Fecha	To (h)	TR (h)	TM (h)	TP (h)	MTBF (h)	$\lambda$	MTTR (h)	$\mu$	D (%)
ABRIL	Comprobación de desgaste en bocines	25/4/2021	14	1	1,5	2,5					
NOVIEMBRE	Mantenimiento del tablero de control	1/11/2021	9	2,5	3	5,5	22,200	0,045	1,900	0,526	92,12%
	Calibración de presión en cilindros neumáticos	7/11/2021	29	1,5	2	3,5					
	Cambio de electroválvulas defectuosas	14/11/2021	32	1	1,5	2,5					
	Detección de tornillos defectuosos	21/11/2021	23	2	2	4					
	Cambio de componentes en mal estado	28/11/2021	18	2,5	2	4,5					
DICIEMBRE	Verificación de buen funcionamiento	1/12/2021	10	2,5	1,5	4	20,400	0,049	2,125	0,471	90,57%
	Lubricación general de la máquina	5/12/2021	19	2	2,5	4,5					
	Limpieza general de la máquina	12/12/2021	27	2	3	5					
	Reemplazo de elementos en mal estado	19/12/2021	31	2	3	5					
	Cierre de actividades	26/12/2021	15			0					
<b>TOTALES</b>			<b>1083</b>	<b>106,5</b>	<b>96,3</b>	<b>202,8</b>	<b>220,15</b>	<b>0,6731</b>	<b>22,2875</b>	<b>6,61085</b>	<b>1088,77%</b>
<b>PROMEDIOS</b>			<b>18,36</b>	<b>1,87</b>	<b>1,69</b>	<b>3,50</b>	<b>18,35</b>	<b>0,06</b>	<b>1,86</b>	<b>0,55</b>	<b>90,731%</b>



**Figura 23:** Gráfica MTBF vs D para selladora de alta frecuencia.

**Fuente:** Autor.

En la Figura 23 se puede apreciar que la disponibilidad máxima de la cortadora de simbra es de 92,12% para un tiempo de buen funcionamiento de 22,2 horas semanales, todos los datos se encuentran dispersos por tal motivo se encontró un coeficiente de correlación  $R^2$  de 0,2572 el punto mínimo de disponibilidad corresponde a 88,76% para un tiempo de buen funcionamiento de 15 horas.



**Figura 24:** Gráfica MTTR vs D para selladora de alta frecuencia

**Fuente:** Autor.

En la Figura 24 se puede apreciar que la disponibilidad máxima de las máquinas troqueladoras es de 92,21 % para un tiempo de reparación de 1,5 horas, no existe relación entre los datos presentados por tal motivo se encontró un coeficiente de correlación  $R^2$  de 0,0896 el punto mínimo de disponibilidad corresponde a 88,76% para un tiempo de reparación de 1,9 horas.

### Modelo matemático de Weibull para selladora de alta frecuencia

Se calcula la probabilidad de fallo y la fiabilidad de la selladora de alta frecuencia partiendo de las actividades descritas en el estadístico desarrollado, asumiendo que se tiene un fallo por cada actividad.

Los parámetros calculados se muestran en la Tabla 14.

Estimación de la media.

Se utilizó el dato de sumatoria de  $\ln (T_o)$  obtenido en la hoja de cálculo de la Tabla 9 para calcular la media mediante la siguiente ecuación:

(Ecuación 8)

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

$$\bar{x} = \frac{165,356}{57}$$

$$\bar{x} = 2,901$$

Varianza.

(Ecuación 9)

$$S^2 = \frac{(165,356)^2}{57 - 1}$$

$$S^2 = 0.319$$

Desviación estándar

(Ecuación 10)

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

$$S = \sqrt{0.319}$$

$$S = 0.5652$$

Parámetros para la ecuación de Weibull.

Coficiente Beta.

(Ecuación 11)

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

$$\beta = \frac{\pi}{0.5652\sqrt{6}}$$

$$\beta = 2.269$$

Coeficiente alfa.

(Ecuación 12)

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

$$\alpha = \exp\left(2.901 + \left(\frac{0.5772}{2.269}\right)\right)$$

$$\alpha = 23,461$$

Los resultados obtenidos para los parámetros iniciales de la cortadora de simbra se muestran en la siguiente Tabla 14.

**Tabla 14:** Parámetros iniciales para la cortadora de simbra

<b>Media (<math>\bar{x}</math>)</b>	2,901
<b>Varianza (<math>S^2</math>)</b>	0,319
<b>Desviación (S)</b>	0,5652
<b>Beta</b>	2,269
<b>Alpha</b>	23,461
<b>Gamma</b>	0
<b>R(t)</b>	0,829
<b>F(t)</b>	0,171

Con los parámetros iniciales calculados se procede a obtener la fiabilidad y la probabilidad de fallo de la selladora de alta frecuencia

(Ecuación 13)

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

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{10 - 0}{25,020}\right)^{\frac{1}{2.269}}\right]$$

$$R(t) = 0.829 \cong 82.9 \%$$

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

$$F(t) = 1 - 0.829$$

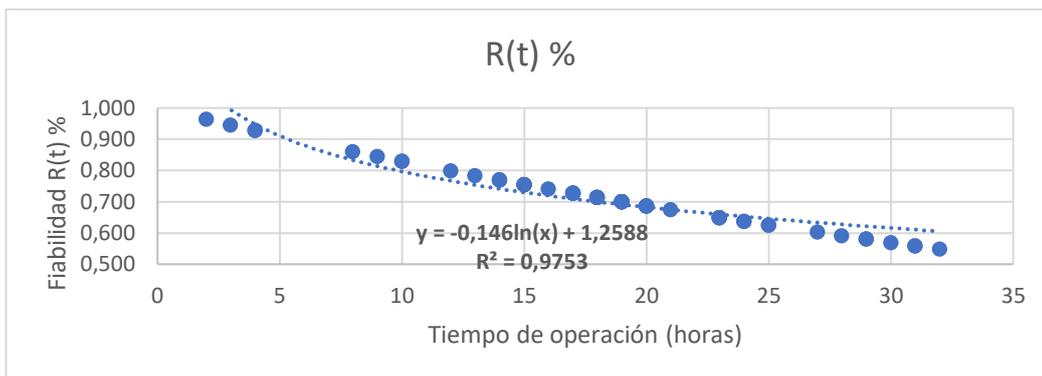
$$F(t) = 0.171 \cong 17.1 \%$$

**Tabla 15:** Cálculo del modelo matemático de Weibull para la selladora de alta frecuencia.

Actividad	Número de Falla	To (h)	ln(t)	(ln(t)-x) <sup>2</sup>	R(t)	R(t) %	F(t)	F(t) %
1	0	10	2,303	0,358	0,829	0,829	0,171	0,171
2	1	16	2,773	0,016	0,740	0,740	0,260	0,260
3	1	18	2,890	0,000	0,713	0,713	0,287	0,287
4	1	14	2,639	0,069	0,769	0,769	0,231	0,231
5	1	2	0,693	4,875	0,963	0,963	0,037	0,037
6	1	17	2,833	0,005	0,727	0,727	0,273	0,273
7	1	15	2,708	0,037	0,754	0,754	0,246	0,246
8	1	19	2,944	0,002	0,700	0,700	0,300	0,300
9	1	20	2,996	0,009	0,687	0,687	0,313	0,313
10	1	18	2,890	0,000	0,713	0,713	0,287	0,287
11	1	24	3,178	0,077	0,637	0,637	0,363	0,363
12	1	30	3,401	0,250	0,569	0,569	0,431	0,431
13	1	20	2,996	0,009	0,687	0,687	0,313	0,313
14	1	14	2,639	0,069	0,769	0,769	0,231	0,231
15	1	17	2,833	0,005	0,727	0,727	0,273	0,273
16	1	15	2,708	0,037	0,754	0,754	0,246	0,246
17	1	20	2,996	0,009	0,687	0,687	0,313	0,313
18	1	19	2,944	0,002	0,700	0,700	0,300	0,300
19	1	14	2,639	0,069	0,769	0,769	0,231	0,231
20	1	23	3,135	0,055	0,649	0,649	0,351	0,351
21	1	25	3,219	0,101	0,625	0,625	0,375	0,375
22	1	20	2,996	0,009	0,687	0,687	0,313	0,313
23	1	19	2,944	0,002	0,700	0,700	0,300	0,300
24	1	13	2,565	0,113	0,783	0,783	0,217	0,217
25	1	12	2,485	0,173	0,798	0,798	0,202	0,202
26	1	19	2,944	0,002	0,700	0,700	0,300	0,300
27	1	18	2,890	0,000	0,713	0,713	0,287	0,287
28	1	17	2,833	0,005	0,727	0,727	0,273	0,273
29	1	15	2,708	0,037	0,754	0,754	0,246	0,246
30	1	4	1,386	2,294	0,928	0,928	0,072	0,072
31	1	3	1,099	3,249	0,945	0,945	0,055	0,055
32	1	21	3,045	0,021	0,674	0,674	0,326	0,326

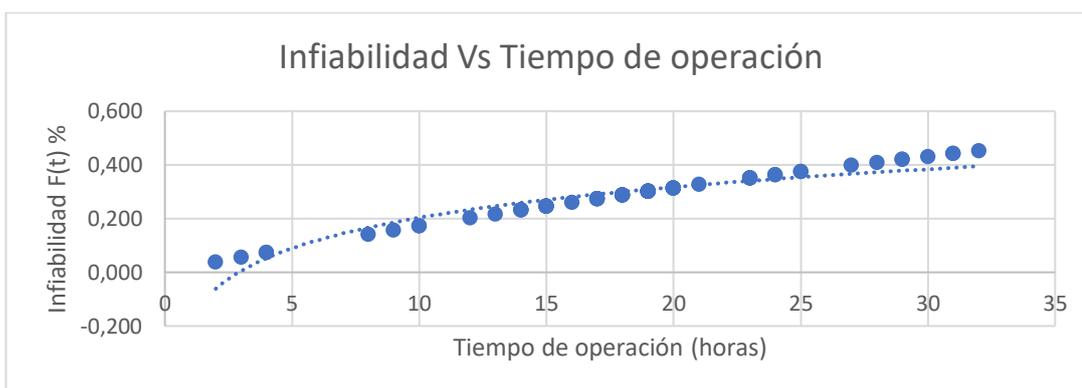
Actividad	Número de Falla	To (h)	ln(t)	$(\ln(t)-x)^2$	R(t)	R(t) %	F(t)	F(t) %
33	1	28	3,332	0,186	0,591	0,591	0,409	0,409
34	1	19	2,944	0,002	0,700	0,700	0,300	0,300
35	1	17	2,833	0,005	0,727	0,727	0,273	0,273
36	1	19	2,944	0,002	0,700	0,700	0,300	0,300
37	1	20	2,996	0,009	0,687	0,687	0,313	0,313
38	1	17	2,833	0,005	0,727	0,727	0,273	0,273
39	1	15	2,708	0,037	0,754	0,754	0,246	0,246
40	1	4	1,386	2,294	0,928	0,928	0,072	0,072
41	1	23	3,135	0,055	0,649	0,649	0,351	0,351
42	1	25	3,219	0,101	0,625	0,625	0,375	0,375
43	1	24	3,178	0,077	0,637	0,637	0,363	0,363
44	1	23	3,135	0,055	0,649	0,649	0,351	0,351
45	1	19	2,944	0,002	0,700	0,700	0,300	0,300
46	1	18	2,890	0,000	0,713	0,713	0,287	0,287
47	1	29	3,367	0,217	0,580	0,580	0,420	0,420
48	1	31	3,434	0,284	0,559	0,559	0,441	0,441
49	1	8	2,079	0,675	0,860	0,860	0,140	0,140
50	1	9	2,197	0,495	0,844	0,844	0,156	0,156
51	1	29	3,367	0,217	0,580	0,580	0,420	0,420
52	1	32	3,466	0,319	0,548	0,548	0,452	0,452
53	1	23	3,135	0,055	0,649	0,649	0,351	0,351
54	1	18	2,890	0,000	0,713	0,713	0,287	0,287
55	1	10	2,303	0,358	0,829	0,829	0,171	0,171
56	1	19	2,944	0,002	0,700	0,700	0,300	0,300
57	1	27	3,296	0,156	0,602	0,602	0,398	0,398
58	1	31	3,434	0,284	0,559	0,559	0,441	0,441
59	0	15	2,708	0,037	0,754	0,754	0,246	0,246
Suma ( $\Sigma$ )	57	Suma ( $\Sigma$ )	<b>165,356</b>	<b>17,886</b>				

Con los datos obtenidos en la Tabla 15 se trazó la curva de fiabilidad vs tiempo de operación que muestra cuan fiables son las máquinas conforme se varía su tiempo en el cual operan, del mismo modo con la infiability, para este caso los valores de fiabilidad se encuentran entre 54,8% y 96,3%.



**Figura 25:** Gráfica Fiabilidad vs tiempo de operación para la selladora de alta frecuencia

**Fuente:** Autor.



**Figura 26:** Gráfica infiabilidad vs tiempo de operación para la selladora de alta frecuencia

**Fuente:** Autor.

### **Modelo gráfico de Weibull.**

Luego de analizar matemáticamente se pueden obtener los resultados mediante el método gráfico mediante el siguiente procedimiento.

### **Modelo Gráfico Troqueladoras hidráulicas.**

Se usa la fórmula de aproximación de rangos medios como se muestra en la siguiente ecuación teniendo en cuenta una falla por cada actividad desarrollada en el estadístico de mantenimiento.

(Ecuación 14)

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

$$F(1) = \frac{1 - 0,3}{57 + 0,4} = 0,012$$

$$F(2) = \frac{2 - 0,3}{57 + 0,4} = 0,03$$

$$F(3) = \frac{3 - 0,3}{57 + 0,4} = 0,047$$

$$F(4) = \frac{4 - 0,3}{57 + 0,4} = 0,064$$

$$F(5) = \frac{5 - 0,3}{57 + 0,4} = 0,082$$

$$F(6) = \frac{6 - 0,3}{57 + 0,4} = 0,099$$

$$F(7) = \frac{7 - 0,3}{57 + 0,4} = 0,117$$

El rango medio se puede calcular para mayor facilidad mediante una hoja de cálculo en donde se agrupan todos los datos del estadístico de las prensas troqueladoras hidráulicas, con el tiempo de operación de las máquinas se forma un par ordenado que permite calcular la fiabilidad mediante la determinación de los coeficientes obtenidos en el papel de Weibull.

La hoja de cálculo se presenta en la Tabla 16.

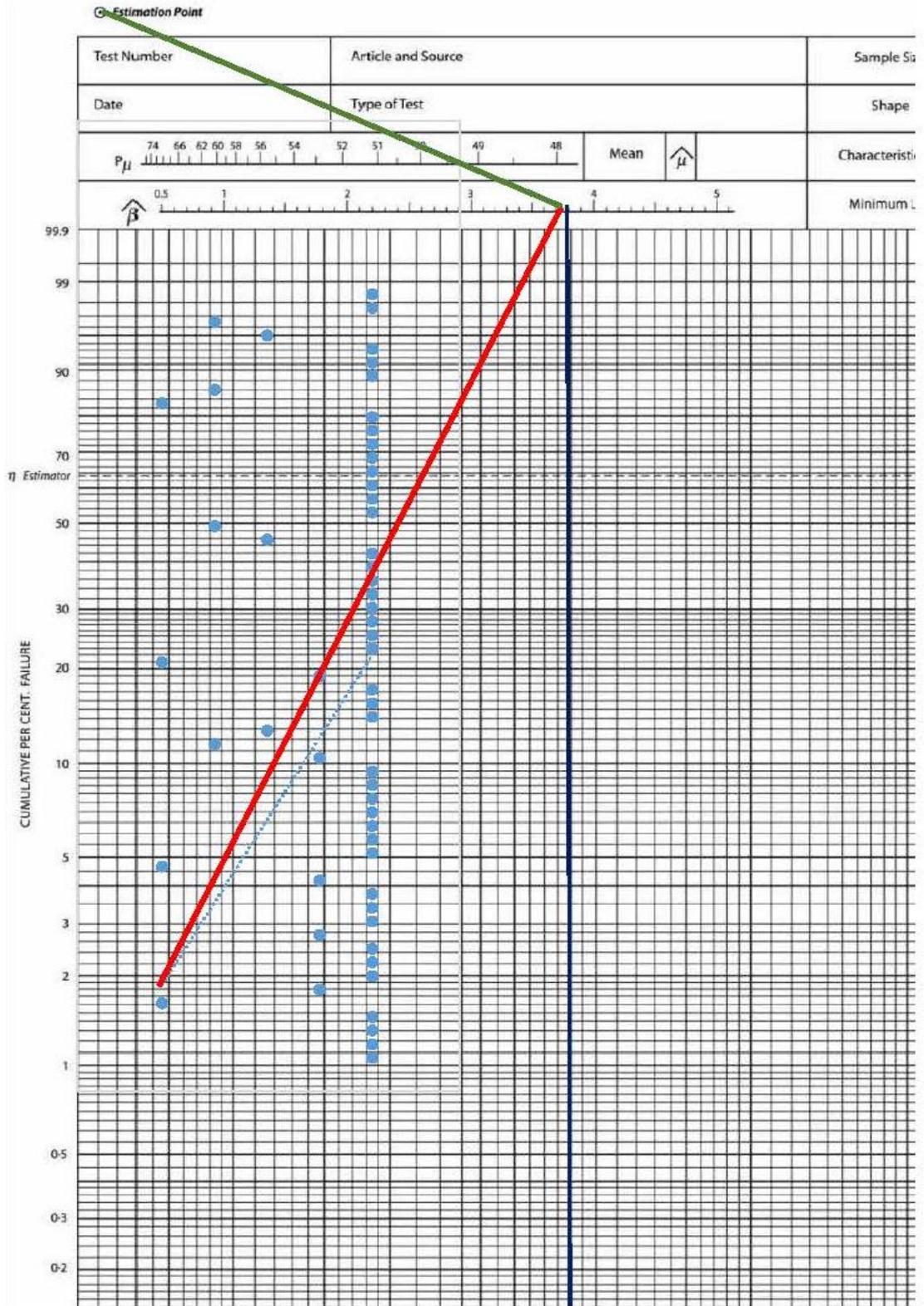
**Tabla 16:** Cálculo del rango medio en el método de Weibull Gráfico para troqueladoras hidráulicas.

Número de fallas	To (h)	Rango medio	Porcentaje de falla acumulativa
1	40	0,012	1,22%
2	40	0,030	2,96%
3	40	0,047	4,70%
4	40	0,064	6,45%
5	8	0,082	8,19%
6	32	0,099	9,93%
7	40	0,117	11,67%
8	40	0,134	13,41%
9	40	0,152	15,16%
10	32	0,169	16,90%
11	40	0,186	18,64%
12	40	0,204	20,38%
13	40	0,221	22,13%
14	32	0,239	23,87%
15	8	0,256	25,61%
16	40	0,274	27,35%
17	40	0,291	29,09%
18	40	0,308	30,84%
19	40	0,326	32,58%
20	40	0,343	34,32%
21	40	0,361	36,06%
22	40	0,378	37,80%
23	32	0,395	39,55%
24	16	0,413	41,29%
25	24	0,430	43,03%
26	40	0,448	44,77%
27	40	0,465	46,52%
28	40	0,483	48,26%
29	32	0,500	50,00%
30	8	0,517	51,74%
31	40	0,535	53,48%
32	40	0,552	55,23%
33	40	0,570	56,97%
34	40	0,587	58,71%
35	40	0,605	60,45%
36	40	0,622	62,20%
37	40	0,639	63,94%
38	40	0,657	65,68%
39	24	0,674	67,42%
40	16	0,692	69,16%

Número de fallas	To (h)	Rango medio	Porcentaje de falla acumulativa
41	40	0,709	70,91%
42	40	0,726	72,65%
43	40	0,744	74,39%
44	40	0,761	76,13%
45	40	0,779	77,87%
46	40	0,796	79,62%
47	40	0,814	81,36%
48	40	0,831	83,10%
49	8	0,848	84,84%
50	16	0,866	86,59%
51	40	0,883	88,33%
52	40	0,901	90,07%
53	40	0,918	91,81%
54	24	0,936	93,55%
55	16	0,953	95,30%
56	40	0,970	97,04%
57	40	0,988	98,78%

Luego de obtener los pares ordenados constituidos por el tiempo de operación en horas y los rangos medios calculados (Ver Tabla 16) utilizamos el papel de Weibull para obtener los coeficientes que se usan en la fórmula de confiabilidad.

En la Figura 27 se muestran graficados los puntos y los coeficientes Beta y n que son usados en el cálculo de la confiabilidad.



**Figura 27:** Gráfica de Weibull Prensas troqueladoras hidráulicas.

**Fuente:** Autor.

De la gráfica de Weibull se obtienen los siguientes coeficientes.

**Tabla 17:** Coeficientes de fallos prensas troqueladoras hidráulicas.

$P\mu$	55
$\beta$	3,8
$n$	90

Con los valores obtenidos en la Tabla 17 se calcula la fiabilidad de las máquinas mediante la siguiente ecuación.

(Ecuación 15)

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

$$R(t) = \exp \left[ - \left( \frac{40 - 0}{90} \right)^{3,8} \right]$$

$$R(t) = 0,955 \approx 95,5\%$$

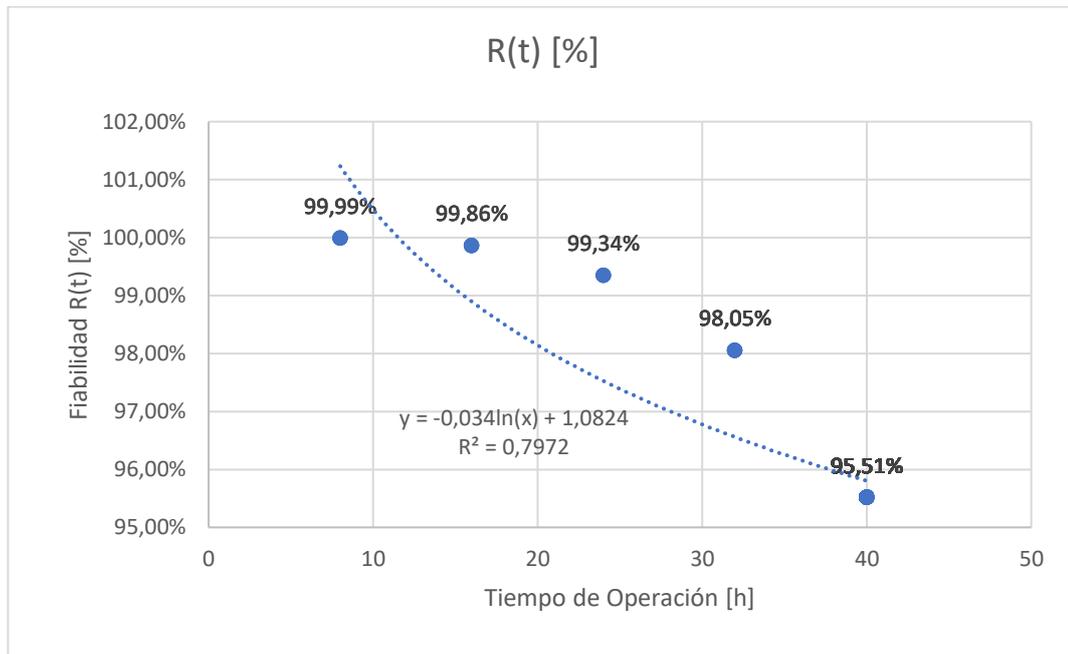
Para facilitar la obtención de la fiabilidad de las maquinas en cada tiempo de operación se utiliza una hoja de cálculo que describe los resultados obtenidos en la Tabla 17.

**Figura 28:** Cálculo de fiabilidad mediante el método gráfico de las troqueladoras hidráulicas.

Número de fallas	To	Rango medio	Porcentaje de falla acumulativa	R(t)	R(t) [%]
1	40	0,012	1,22%	0,955	95,51%
2	40	0,030	2,96%	0,955	95,51%
3	40	0,047	4,70%	0,955	95,51%
4	40	0,064	6,45%	0,955	95,51%
5	8	0,082	8,19%	1,000	99,99%
6	32	0,099	9,93%	0,981	98,05%
7	40	0,117	11,67%	0,955	95,51%
8	40	0,134	13,41%	0,955	95,51%
9	40	0,152	15,16%	0,955	95,51%
10	32	0,169	16,90%	0,981	98,05%
11	40	0,186	18,64%	0,955	95,51%
12	40	0,204	20,38%	0,955	95,51%
13	40	0,221	22,13%	0,955	95,51%
14	32	0,239	23,87%	0,981	98,05%
15	8	0,256	25,61%	1,000	99,99%
16	40	0,274	27,35%	0,955	95,51%
17	40	0,291	29,09%	0,955	95,51%
18	40	0,308	30,84%	0,955	95,51%
19	40	0,326	32,58%	0,955	95,51%

Número de fallas	To	Rango medio	Porcentaje de falla acumulativa	R(t)	R(t) [%]
20	40	0,343	34,32%	0,955	95,51%
21	40	0,361	36,06%	0,955	95,51%
22	40	0,378	37,80%	0,955	95,51%
23	32	0,395	39,55%	0,981	98,05%
24	16	0,413	41,29%	0,999	99,86%
25	24	0,430	43,03%	0,993	99,34%
26	40	0,448	44,77%	0,955	95,51%
27	40	0,465	46,52%	0,955	95,51%
28	40	0,483	48,26%	0,955	95,51%
29	32	0,500	50,00%	0,981	98,05%
30	8	0,517	51,74%	1,000	99,99%
31	40	0,535	53,48%	0,955	95,51%
32	40	0,552	55,23%	0,955	95,51%
33	40	0,570	56,97%	0,955	95,51%
34	40	0,587	58,71%	0,955	95,51%
35	40	0,605	60,45%	0,955	95,51%
36	40	0,622	62,20%	0,955	95,51%
37	40	0,639	63,94%	0,955	95,51%
38	40	0,657	65,68%	0,955	95,51%
39	24	0,674	67,42%	0,993	99,34%
40	16	0,692	69,16%	0,999	99,86%
41	40	0,709	70,91%	0,955	95,51%
42	40	0,726	72,65%	0,955	95,51%
43	40	0,744	74,39%	0,955	95,51%
44	40	0,761	76,13%	0,955	95,51%
45	40	0,779	77,87%	0,955	95,51%
46	40	0,796	79,62%	0,955	95,51%
47	40	0,814	81,36%	0,955	95,51%
48	40	0,831	83,10%	0,955	95,51%
49	8	0,848	84,84%	1,000	99,99%
50	16	0,866	86,59%	0,999	99,86%
51	40	0,883	88,33%	0,955	95,51%
52	40	0,901	90,07%	0,955	95,51%
53	40	0,918	91,81%	0,955	95,51%
54	24	0,936	93,55%	0,993	99,34%
55	16	0,953	95,30%	0,999	99,86%
56	40	0,970	97,04%	0,955	95,51%
57	40	0,988	98,78%	0,955	95,51%

De la Tabka 17 se obtiene el diagrama de confiabilidad vs tiempo de operación además de la línea de tendencia y el valor de  $R^2$ .



**Figura 29:** Confiabilidad vs tiempo de operación Troqueladoras hidráulicas.

### Interpretación:

El valor de  $R^2$  expresa que existe correlación de los datos mediante una línea de tendencia logarítmica la cual permite describir en qué circunstancias de mantenimiento se encuentran las máquinas.

La fiabilidad más alta corresponde al 99,99% y se da a las 10 horas de funcionamiento de las máquinas, mientras que la mínima corresponde a 95,51% en 40 horas de operación.

La gráfica muestra que mientras más se prolonga el tiempo de operación de las prensas troqueladoras hidráulicas la confiabilidad disminuye, esto se da porque conforme más tiempo las maquinas pasen en operación existe mayor desgaste y por consecuencia más fallas.

Las troqueladoras hidráulicas se encuentran en la zona de mantenimiento infantil dado que la confiabilidad decrece mientras el tiempo de operación es más prolongado, por ende, la tasa de fallos es decreciente.

## Modelo Gráfico Troqueladoras mecánicas.

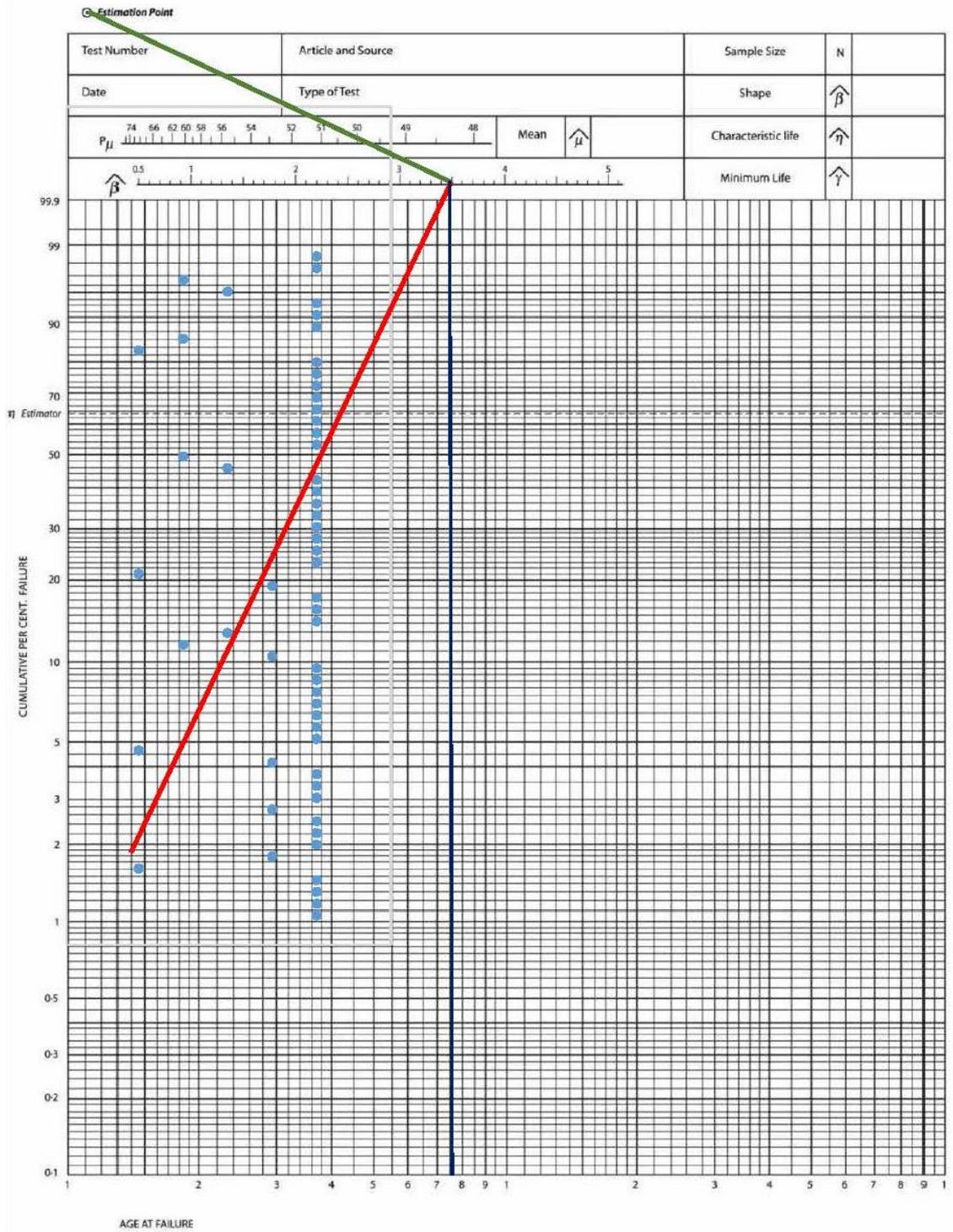
**Tabla 18:** Cálculo del rango medio en el método de Weibull Gráfico para troqueladoras mecánicas.

Número de fallas	To	Rango medio	Porcentaje de falla acumulativa
1	40	0,012	1,22%
2	40	0,030	2,96%
3	40	0,047	4,70%
4	40	0,064	6,45%
5	8	0,082	8,19%
6	32	0,099	9,93%
7	40	0,117	11,67%
8	40	0,134	13,41%
9	40	0,152	15,16%
10	32	0,169	16,90%
11	40	0,186	18,64%
12	40	0,204	20,38%
13	40	0,221	22,13%
14	32	0,239	23,87%
15	8	0,256	25,61%
16	40	0,274	27,35%
17	40	0,291	29,09%
18	40	0,308	30,84%
19	40	0,326	32,58%
20	40	0,343	34,32%
21	40	0,361	36,06%
22	40	0,378	37,80%
23	32	0,395	39,55%
24	16	0,413	41,29%
25	24	0,430	43,03%
26	40	0,448	44,77%
27	40	0,465	46,52%
28	40	0,483	48,26%
29	32	0,500	50,00%
30	8	0,517	51,74%
31	40	0,535	53,48%
32	40	0,552	55,23%
33	40	0,570	56,97%
34	40	0,587	58,71%
35	40	0,605	60,45%
36	40	0,622	62,20%

Número de fallas	To	Rango medio	Porcentaje de falla acumulativa
37	40	0,639	63,94%
38	40	0,657	65,68%
39	24	0,674	67,42%
40	16	0,692	69,16%
41	40	0,709	70,91%
42	40	0,726	72,65%
43	40	0,744	74,39%
44	40	0,761	76,13%
45	40	0,779	77,87%
46	40	0,796	79,62%
47	40	0,814	81,36%
48	40	0,831	83,10%
49	8	0,848	84,84%
50	16	0,866	86,59%
51	40	0,883	88,33%
52	40	0,901	90,07%
53	40	0,918	91,81%
54	24	0,936	93,55%
55	16	0,953	95,30%
56	40	0,970	97,04%
57	40	0,988	98,78%

Luego de obtener los pares ordenados constituidos por el tiempo de operación en horas y los rangos medios calculados, utilizamos el papel de Weibull para obtener los coeficientes que se usan en la fórmula de confiabilidad.

En la Figura 30 se muestran graficados los puntos y los coeficientes Beta y n que son usados en el cálculo de la confiabilidad.



**Figura 30:** Gráfica de Weibull Prensas troqueladoras Mecánicas.

**Fuente:** Autor.

De la gráfica de Weibull se obtienen los siguientes coeficientes.

**Tabla 19:** Coeficientes de fallos prensas troqueladoras mecánicas.

$P\mu$	55
$\beta$	3,5
$n$	75

Con los valores obtenidos en la Tabla 19 se calcula la fiabilidad de las máquinas mediante la siguiente ecuación. (Ecuación 15)

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

$$R(t) = \exp \left[ - \left( \frac{40 - 0}{75} \right)^{3,5} \right]$$

$$R(t) = 0,8951 \approx 89,51\%$$

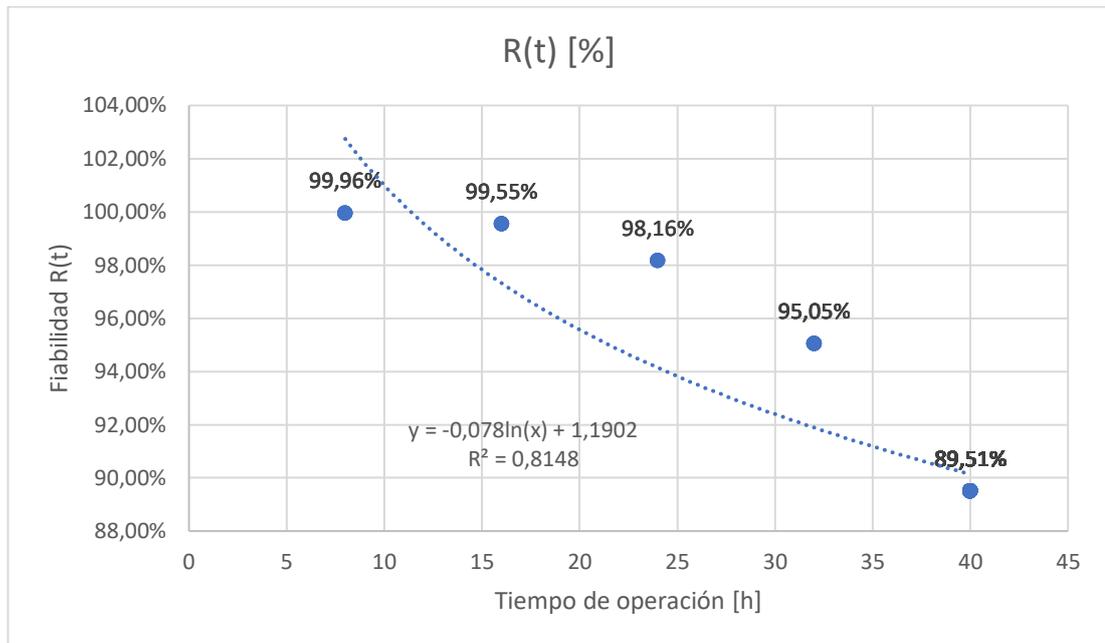
Para facilitar la obtención de la fiabilidad de las máquinas en cada tiempo de operación se utiliza una hoja de cálculo que describe los resultados obtenidos en la Tabla 19.

**Tabla 20:** Cálculo de fiabilidad mediante el método gráfico de las troqueladoras mecánicas.

Número de fallas	To	Rango medio	Porcentaje de falla acumulativa	R(t)	R(t) [%]
1	40	0,012	1,22%	0,895	89,51%
2	40	0,030	2,96%	0,895	89,51%
3	40	0,047	4,70%	0,895	89,51%
4	40	0,064	6,45%	0,895	89,51%
5	8	0,082	8,19%	1,000	99,96%
6	32	0,099	9,93%	0,951	95,05%
7	40	0,117	11,67%	0,895	89,51%
8	40	0,134	13,41%	0,895	89,51%
9	40	0,152	15,16%	0,895	89,51%
10	32	0,169	16,90%	0,951	95,05%
11	40	0,186	18,64%	0,895	89,51%
12	40	0,204	20,38%	0,895	89,51%
13	40	0,221	22,13%	0,895	89,51%
14	32	0,239	23,87%	0,951	95,05%
15	8	0,256	25,61%	1,000	99,96%
16	40	0,274	27,35%	0,895	89,51%
17	40	0,291	29,09%	0,895	89,51%
18	40	0,308	30,84%	0,895	89,51%
19	40	0,326	32,58%	0,895	89,51%

Número de fallas	To	Rango medio	Porcentaje de falla acumulativa	R(t)	R(t) [%]
20	40	0,343	34,32%	0,895	89,51%
21	40	0,361	36,06%	0,895	89,51%
22	40	0,378	37,80%	0,895	89,51%
23	32	0,395	39,55%	0,951	95,05%
24	16	0,413	41,29%	0,996	99,55%
25	24	0,430	43,03%	0,982	98,16%
26	40	0,448	44,77%	0,895	89,51%
27	40	0,465	46,52%	0,895	89,51%
28	40	0,483	48,26%	0,895	89,51%
29	32	0,500	50,00%	0,951	95,05%
30	8	0,517	51,74%	1,000	99,96%
31	40	0,535	53,48%	0,895	89,51%
32	40	0,552	55,23%	0,895	89,51%
33	40	0,570	56,97%	0,895	89,51%
34	40	0,587	58,71%	0,895	89,51%
35	40	0,605	60,45%	0,895	89,51%
36	40	0,622	62,20%	0,895	89,51%
37	40	0,639	63,94%	0,895	89,51%
38	40	0,657	65,68%	0,895	89,51%
39	24	0,674	67,42%	0,982	98,16%
40	16	0,692	69,16%	0,996	99,55%
41	40	0,709	70,91%	0,895	89,51%
42	40	0,726	72,65%	0,895	89,51%
43	40	0,744	74,39%	0,895	89,51%
44	40	0,761	76,13%	0,895	89,51%
45	40	0,779	77,87%	0,895	89,51%
46	40	0,796	79,62%	0,895	89,51%
47	40	0,814	81,36%	0,895	89,51%
48	40	0,831	83,10%	0,895	89,51%
49	8	0,848	84,84%	1,000	99,96%
50	16	0,866	86,59%	0,996	99,55%
51	40	0,883	88,33%	0,895	89,51%
52	40	0,901	90,07%	0,895	89,51%
53	40	0,918	91,81%	0,895	89,51%
54	24	0,936	93,55%	0,982	98,16%
55	16	0,953	95,30%	0,996	99,55%
56	40	0,970	97,04%	0,895	89,51%
57	40	0,988	98,78%	0,895	89,51%

De la Tabla 19 se obtiene el diagrama de confiabilidad vs tiempo de operación además de la línea de tendencia y el valor de  $R^2$ .



**Figura 31:** Fiabilidad vs tiempo de operación troqueladoras mecánicas.

### **Interpretación:**

El valor de  $R^2$  expresa que existe correlación de los datos mediante una línea de tendencia logarítmica la cual permite describir en qué circunstancias de mantenimiento se encuentran las máquinas.

La fiabilidad más alta corresponde al 99,96% y se da a las 10 horas de funcionamiento de las máquinas, mientras que la mínima corresponde a 89,51% en 40 horas de operación.

La gráfica muestra que mientras más se prolonga el tiempo de operación de las prensas troqueladoras mecánicas la confiabilidad disminuye, esto se da porque conforme más tiempo las máquinas pasen en operación existe mayor desgaste y por consecuencia más fallas.

Las troqueladoras mecánicas se encuentran en la zona de mantenimiento infantil dado que la confiabilidad decrece mientras el tiempo de operación es más prolongado, por ende, la tasa de fallos es decreciente.

## Modelo Gráfico túnel termoencogedor.

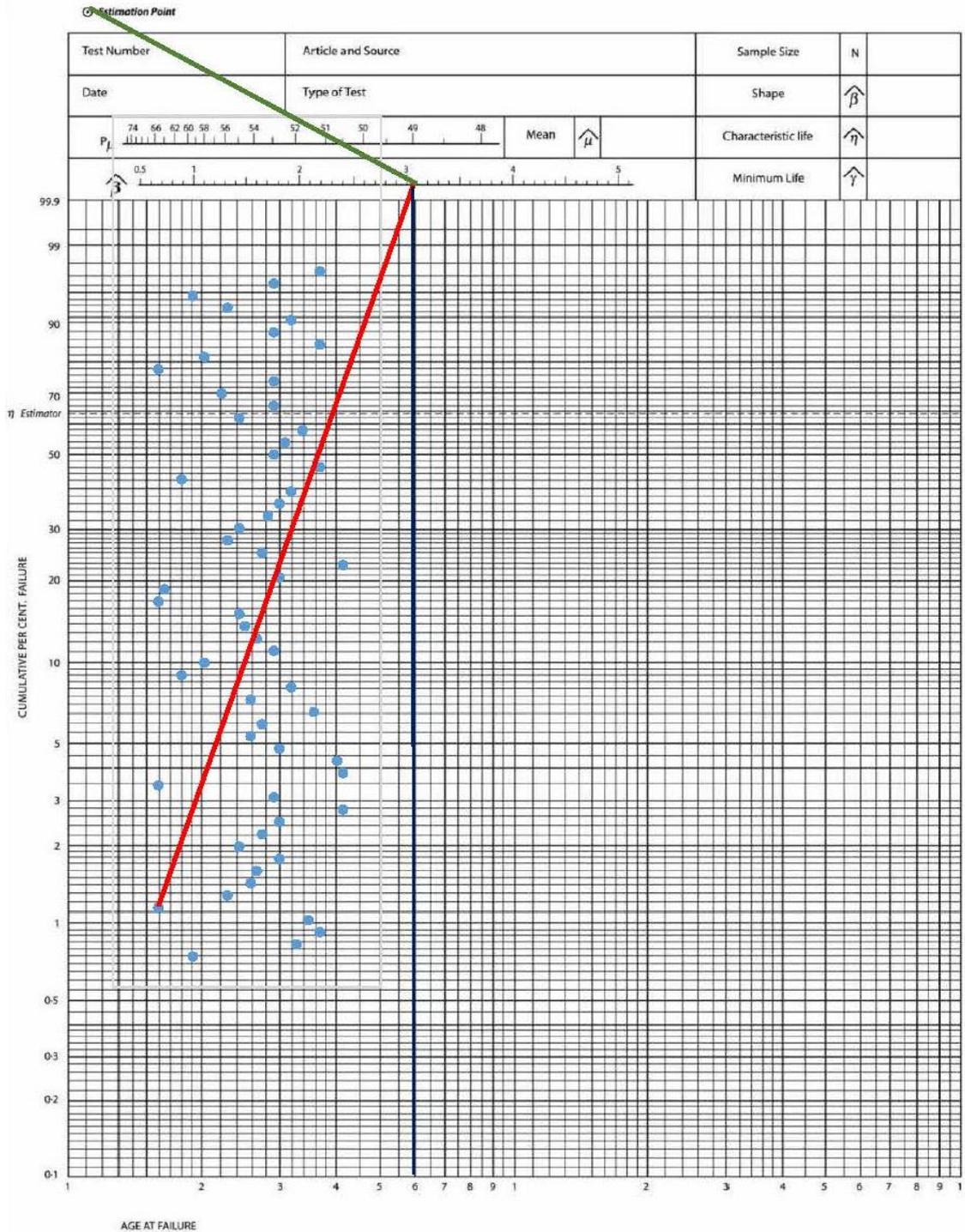
**Tabla 21:** Cálculo del rango medio en el método de Weibull Gráfico para el túnel termoencogedor.

Número de fallas	To	Rango medio	Porcentaje de falla acumulativa
1	10	0,012	1,22%
2	28	0,030	2,96%
3	32	0,047	4,70%
4	30	0,064	6,45%
5	4	0,082	8,19%
6	16	0,099	9,93%
7	20	0,117	11,67%
8	21	0,134	13,41%
9	25	0,152	15,16%
10	18	0,169	16,90%
11	22	0,186	18,64%
12	25	0,204	20,38%
13	36	0,221	22,13%
14	24	0,239	23,87%
15	4	0,256	25,61%
16	36	0,274	27,35%
17	35	0,291	29,09%
18	25	0,308	30,84%
19	20	0,326	32,58%
20	22	0,343	34,32%
21	31	0,361	36,06%
22	20	0,378	37,80%
23	27	0,395	39,55%
24	8	0,413	41,29%
25	12	0,430	43,03%
26	24	0,448	44,77%
27	21	0,465	46,52%
28	19	0,483	48,26%
29	18	0,500	50,00%
30	4	0,517	51,74%
31	5	0,535	53,48%
32	25	0,552	55,23%
33	36	0,570	56,97%
34	22	0,587	58,71%
35	16	0,605	60,45%
36	18	0,622	62,20%

<b>Número de fallas</b>	<b>To</b>	<b>Rango medio</b>	<b>Porcentaje de falla acumulativa</b>
37	23	0,639	63,94%
38	25	0,657	65,68%
39	27	0,674	67,42%
40	8	0,692	69,16%
41	32	0,709	70,91%
42	24	0,726	72,65%
43	26	0,744	74,39%
44	29	0,761	76,13%
45	18	0,779	77,87%
46	24	0,796	79,62%
47	15	0,814	81,36%
48	24	0,831	83,10%
49	4	0,848	84,84%
50	12	0,866	86,59%
51	32	0,883	88,33%
52	24	0,901	90,07%
53	27	0,918	91,81%
54	16	0,936	93,55%
55	10	0,953	95,30%
56	24	0,970	97,04%
57	32	0,988	98,78%

Luego de obtener los pares ordenados constituidos por el tiempo de operación en horas y los rangos medios calculados, utilizamos el papel de Weibull para obtener los coeficientes que se usan en la fórmula de confiabilidad.

En la Figura 32 se muestran graficados los puntos y los coeficientes Beta y n que son usados en el cálculo de la confiabilidad.



**Figura 32:** Gráfica de Weibull para túnel termoencogedor.

**Fuente:** Autor.

De la gráfica de Weibull se obtienen los siguientes coeficientes.

**Tabla 22:** Coeficientes de fallos prensas troqueladoras mecánicas.

$P\mu$	55
$\beta$	3,1
$n$	60

Con los valores obtenidos en la Tabla 22 se calcula la fiabilidad de las máquinas mediante la siguiente ecuación. (Ecuación 15)

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

$$R(t) = \exp \left[ - \left( \frac{10 - 0}{60} \right)^{3,1} \right]$$

$$R(t) = 0,9961 \approx 99,61\%$$

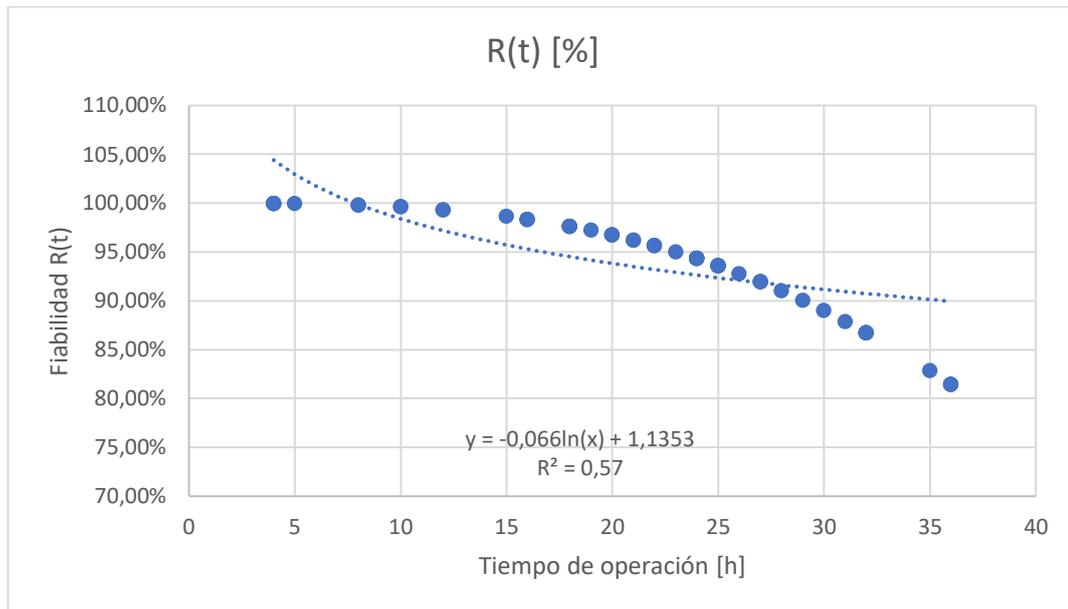
Para facilitar la obtención de la fiabilidad de las máquinas en cada tiempo de operación se utiliza una hoja de cálculo que describe los resultados obtenidos en la Tabla 22.

**Tabla 23:** Cálculo de fiabilidad mediante el método gráfico del túnel termoencogedor.

Número de fallas	To	Rango medio	Porcentaje de falla acumulativa	R(t)	R(t) [%]
1	10	0,012	1,22%	0,996	99,61%
2	28	0,030	2,96%	0,910	91,01%
3	32	0,047	4,70%	0,867	86,72%
4	30	0,064	6,45%	0,890	88,99%
5	4	0,082	8,19%	1,000	99,98%
6	16	0,099	9,93%	0,984	98,35%
7	20	0,117	11,67%	0,967	96,74%
8	21	0,134	13,41%	0,962	96,21%
9	25	0,152	15,16%	0,936	93,59%
10	18	0,169	16,90%	0,976	97,63%
11	22	0,186	18,64%	0,956	95,64%
12	25	0,204	20,38%	0,936	93,59%
13	36	0,221	22,13%	0,814	81,44%
14	24	0,239	23,87%	0,943	94,33%
15	4	0,256	25,61%	1,000	99,98%
16	36	0,274	27,35%	0,814	81,44%
17	35	0,291	29,09%	0,829	82,85%
18	25	0,308	30,84%	0,936	93,59%
19	20	0,326	32,58%	0,967	96,74%

Número de fallas	To	Rango medio	Porcentaje de falla acumulativa	R(t)	R(t) [%]
20	22	0,343	34,32%	0,956	95,64%
21	31	0,361	36,06%	0,879	87,89%
22	20	0,378	37,80%	0,967	96,74%
23	27	0,395	39,55%	0,919	91,93%
24	8	0,413	41,29%	0,998	99,81%
25	12	0,430	43,03%	0,993	99,32%
26	24	0,448	44,77%	0,943	94,33%
27	21	0,465	46,52%	0,962	96,21%
28	19	0,483	48,26%	0,972	97,21%
29	18	0,500	50,00%	0,976	97,63%
30	4	0,517	51,74%	1,000	99,98%
31	5	0,535	53,48%	1,000	99,95%
32	25	0,552	55,23%	0,936	93,59%
33	36	0,570	56,97%	0,814	81,44%
34	22	0,587	58,71%	0,956	95,64%
35	16	0,605	60,45%	0,984	98,35%
36	18	0,622	62,20%	0,976	97,63%
37	23	0,639	63,94%	0,950	95,01%
38	25	0,657	65,68%	0,936	93,59%
39	27	0,674	67,42%	0,919	91,93%
40	8	0,692	69,16%	0,998	99,81%
41	32	0,709	70,91%	0,867	86,72%
42	24	0,726	72,65%	0,943	94,33%
43	26	0,744	74,39%	0,928	92,79%
44	29	0,761	76,13%	0,900	90,03%
45	18	0,779	77,87%	0,976	97,63%
46	24	0,796	79,62%	0,943	94,33%
47	15	0,814	81,36%	0,986	98,65%
48	24	0,831	83,10%	0,943	94,33%
49	4	0,848	84,84%	1,000	99,98%
50	12	0,866	86,59%	0,993	99,32%
51	32	0,883	88,33%	0,867	86,72%
52	24	0,901	90,07%	0,943	94,33%
53	27	0,918	91,81%	0,919	91,93%
54	16	0,936	93,55%	0,984	98,35%
55	10	0,953	95,30%	0,996	99,61%
56	24	0,970	97,04%	0,943	94,33%
57	32	0,988	98,78%	0,867	86,72%

De la Tabla 23 se obtiene el diagrama de confiabilidad vs tiempo de operación además de la línea de tendencia y el valor de  $R^2$ .



**Figura 33:** Fiabilidad vs tiempo de operación túnel termoencogedor.

### Interpretación:

El valor de  $R^2$  expresa que existe correlación de los datos mediante una línea de tendencia logarítmica la cual permite describir en qué circunstancias de mantenimiento se encuentran las máquinas.

La fiabilidad más alta corresponde al 99,99% y se da a las 10 horas de funcionamiento de las máquinas, mientras que la mínima corresponde a 95,51% en 40 horas de operación.

La gráfica muestra que mientras más se prolonga el tiempo de operación del túnel termoencogedor la confiabilidad disminuye, esto se da porque conforme más tiempo las máquinas pasen en operación existe mayor desgaste y por consecuencia más fallas.

El túnel termoencogedor se encuentran en la zona de mantenimiento infantil dado que la confiabilidad decrece mientras el tiempo de operación es más prolongado, por ende, la tasa de fallos es decreciente.

## Modelo Gráfico-cortadora de simbra.

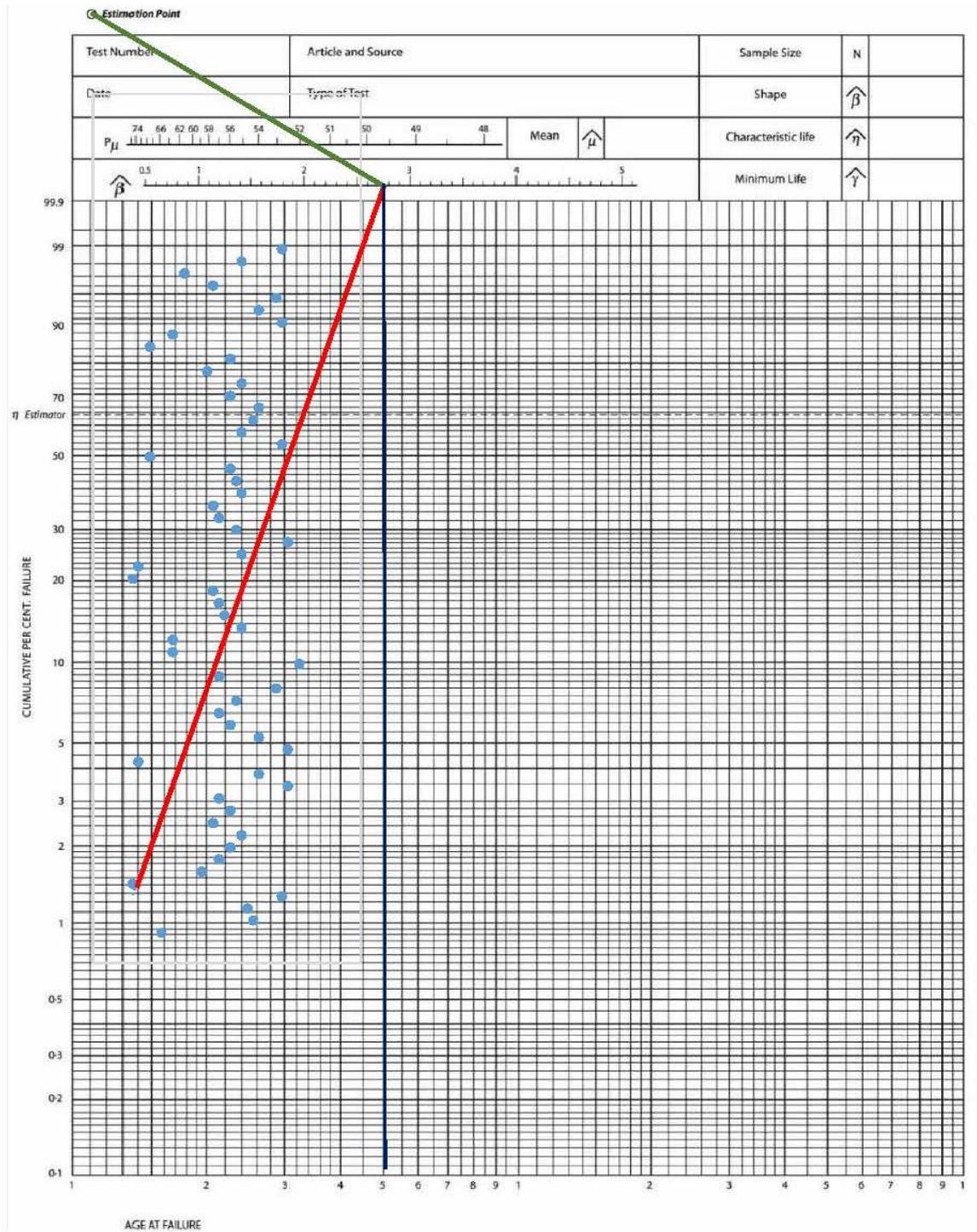
**Tabla 24:** Cálculo del rango medio en el método de Weibull Gráfico para cortadora de simbra

Número de fallas	To	Rango medio	Porcentaje de falla acumulativa
1	8	0,012	1,22%
2	24	0,030	2,96%
3	23	0,047	4,70%
4	29	0,064	6,45%
5	3	0,082	8,19%
6	15	0,099	9,93%
7	18	0,117	11,67%
8	20	0,134	13,41%
9	22	0,152	15,16%
10	17	0,169	16,90%
11	20	0,186	18,64%
12	18	0,204	20,38%
13	30	0,221	22,13%
14	25	0,239	23,87%
15	4	0,256	25,61%
16	30	0,274	27,35%
17	25	0,291	29,09%
18	20	0,308	30,84%
19	18	0,326	32,58%
20	21	0,343	34,32%
21	28	0,361	36,06%
22	18	0,378	37,80%
23	32	0,395	39,55%
24	10	0,413	41,29%
25	10	0,430	43,03%
26	22	0,448	44,77%
27	19	0,465	46,52%
28	18	0,483	48,26%
29	17	0,500	50,00%
30	3	0,517	51,74%
31	4	0,535	53,48%
32	22	0,552	55,23%
33	30	0,570	56,97%
34	21	0,587	58,71%
35	18	0,605	60,45%
36	17	0,622	62,20%
37	22	0,639	63,94%
38	21	0,657	65,68%

Número de fallas	To	Rango medio	Porcentaje de falla acumulativa
39	20	0,674	67,42%
40	6	0,692	69,16%
41	29	0,709	70,91%
42	22	0,726	72,65%
43	24	0,744	74,39%
44	25	0,761	76,13%
45	20	0,779	77,87%
46	22	0,796	79,62%
47	16	0,814	81,36%
48	20	0,831	83,10%
49	6	0,848	84,84%
50	10	0,866	86,59%
51	29	0,883	88,33%
52	25	0,901	90,07%
53	28	0,918	91,81%
54	17	0,936	93,55%
55	12	0,953	95,30%
56	22	0,970	97,04%
57	29	0,988	98,78%

Luego de obtener los pares ordenados constituidos por el tiempo de operación en horas y los rangos medios calculados, utilizamos el papel de Weibull para obtener los coeficientes que se usan en la fórmula de confiabilidad, para la máquina cortadora de simbra.

En la Figura 34 se muestran graficados los puntos y los coeficientes Beta y n que son usados en el cálculo de la confiabilidad.



**Figura 34:** Gráfica de Weibull cortadora de simbra.

**Fuente:** Autor.

De la gráfica de Weibull se obtienen los siguientes coeficientes.

**Tabla 25:** Coeficientes de fallos para cortadora de simbra.

$P\mu$	55
$\beta$	2,75
$n$	50

Con los valores obtenidos en la Tabla 25 se calcula la fiabilidad de las máquinas mediante la siguiente ecuación. (Ecuación 15)

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

$$R(t) = \exp \left[ - \left( \frac{8 - 0}{50} \right)^{2,75} \right]$$

$$R(t) = 0,9935 \approx 99,35\%$$

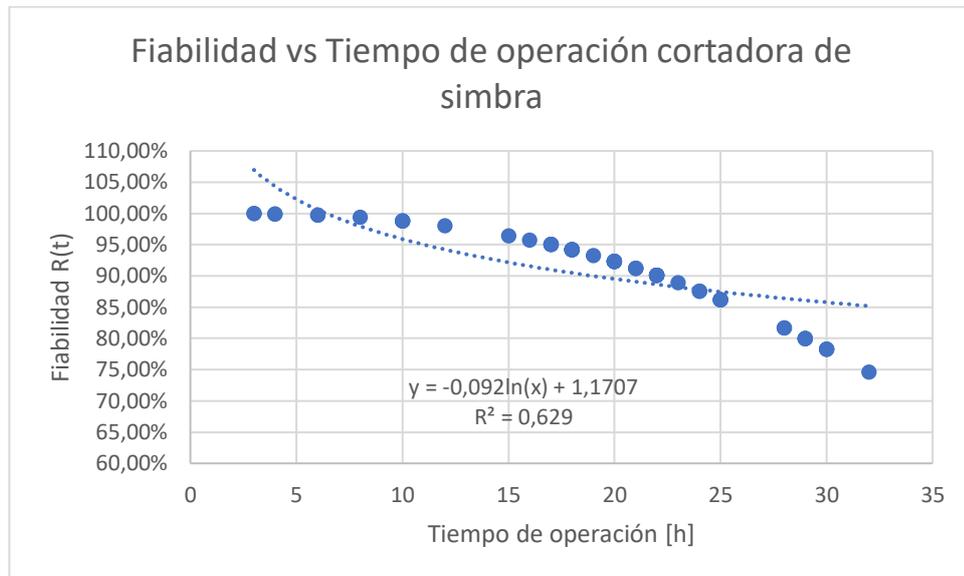
Para facilitar la obtención de la fiabilidad de las maquinas en cada tiempo de operación se utiliza una hoja de cálculo que describe los resultados obtenidos en la Tabla 25.

**Tabla 26:** Cálculo de fiabilidad mediante el método gráfico de la cortadora de simbra.

Número de fallas	To	Rango medio	Porcentaje de falla acumulativa	R(t)	R(t) [%]
1	8	0,012	1,22%	0,994	99,35%
2	24	0,030	2,96%	0,876	87,56%
3	23	0,047	4,70%	0,889	88,85%
4	29	0,064	6,45%	0,800	79,97%
5	3	0,082	8,19%	1,000	99,96%
6	15	0,099	9,93%	0,964	96,42%
7	18	0,117	11,67%	0,942	94,15%
8	20	0,134	13,41%	0,923	92,27%
9	22	0,152	15,16%	0,901	90,07%
10	17	0,169	16,90%	0,950	94,98%
11	20	0,186	18,64%	0,923	92,27%
12	18	0,204	20,38%	0,942	94,15%
13	30	0,221	22,13%	0,782	78,24%
14	25	0,239	23,87%	0,862	86,19%
15	4	0,256	25,61%	0,999	99,90%
16	30	0,274	27,35%	0,782	78,24%
17	25	0,291	29,09%	0,862	86,19%
18	20	0,308	30,84%	0,923	92,27%

Número de fallas	To	Rango medio	Porcentaje de falla acumulativa	R(t)	R(t) [%]
19	18	0,326	32,58%	0,942	94,15%
20	21	0,343	34,32%	0,912	91,21%
21	28	0,361	36,06%	0,816	81,63%
22	18	0,378	37,80%	0,942	94,15%
23	32	0,395	39,55%	0,746	74,60%
24	10	0,413	41,29%	0,988	98,81%
25	10	0,430	43,03%	0,988	98,81%
26	22	0,448	44,77%	0,901	90,07%
27	19	0,465	46,52%	0,932	93,25%
28	18	0,483	48,26%	0,942	94,15%
29	17	0,500	50,00%	0,950	94,98%
30	3	0,517	51,74%	1,000	99,96%
31	4	0,535	53,48%	0,999	99,90%
32	22	0,552	55,23%	0,901	90,07%
33	30	0,570	56,97%	0,782	78,24%
34	21	0,587	58,71%	0,912	91,21%
35	18	0,605	60,45%	0,942	94,15%
36	17	0,622	62,20%	0,950	94,98%
37	22	0,639	63,94%	0,901	90,07%
38	21	0,657	65,68%	0,912	91,21%
39	20	0,674	67,42%	0,923	92,27%
40	6	0,692	69,16%	0,997	99,71%
41	29	0,709	70,91%	0,800	79,97%
42	22	0,726	72,65%	0,901	90,07%
43	24	0,744	74,39%	0,876	87,56%
44	25	0,761	76,13%	0,862	86,19%
45	20	0,779	77,87%	0,923	92,27%
46	22	0,796	79,62%	0,901	90,07%
47	16	0,814	81,36%	0,957	95,74%
48	20	0,831	83,10%	0,923	92,27%
49	6	0,848	84,84%	0,997	99,71%
50	10	0,866	86,59%	0,988	98,81%
51	29	0,883	88,33%	0,800	79,97%
52	25	0,901	90,07%	0,862	86,19%
53	28	0,918	91,81%	0,816	81,63%
54	17	0,936	93,55%	0,950	94,98%
55	12	0,953	95,30%	0,980	98,04%
56	22	0,970	97,04%	0,901	90,07%
57	29	0,988	98,78%	0,800	79,97%

De la Tabla 26 se obtiene el diagrama de confiabilidad vs tiempo de operación además de la línea de tendencia y el valor de  $R^2$ .



**Figura 35:** Gráfica de fiabilidad vs tiempo de operación de la cortadora de simbra.

**Fuente:** Autor.

### **Interpretación:**

El valor de  $R^2$  expresa que existe correlación de los datos mediante una línea de tendencia logarítmica la cual permite describir en qué circunstancias de mantenimiento se encuentran las máquinas.

La fiabilidad más alta corresponde al 99,35% y se da a las 8 horas de funcionamiento de las máquinas, mientras que la mínima corresponde a 74,60% en 23 horas de operación.

La Figura 35 muestra que mientras más se prolonga el tiempo de operación de cortadora de simbra la confiabilidad disminuye, esto se da porque conforme más tiempo las máquinas pasen en operación existe mayor desgaste y por consecuencia más fallas.

La cortadora de simbra al igual que todas las máquinas de esta sección se encuentran en la zona de mantenimiento infantil dado que la confiabilidad decrece mientras el tiempo de operación es más prolongado, por ende, la tasa de fallos es decreciente.

## Modelo Gráfico-selladora de alta frecuencia

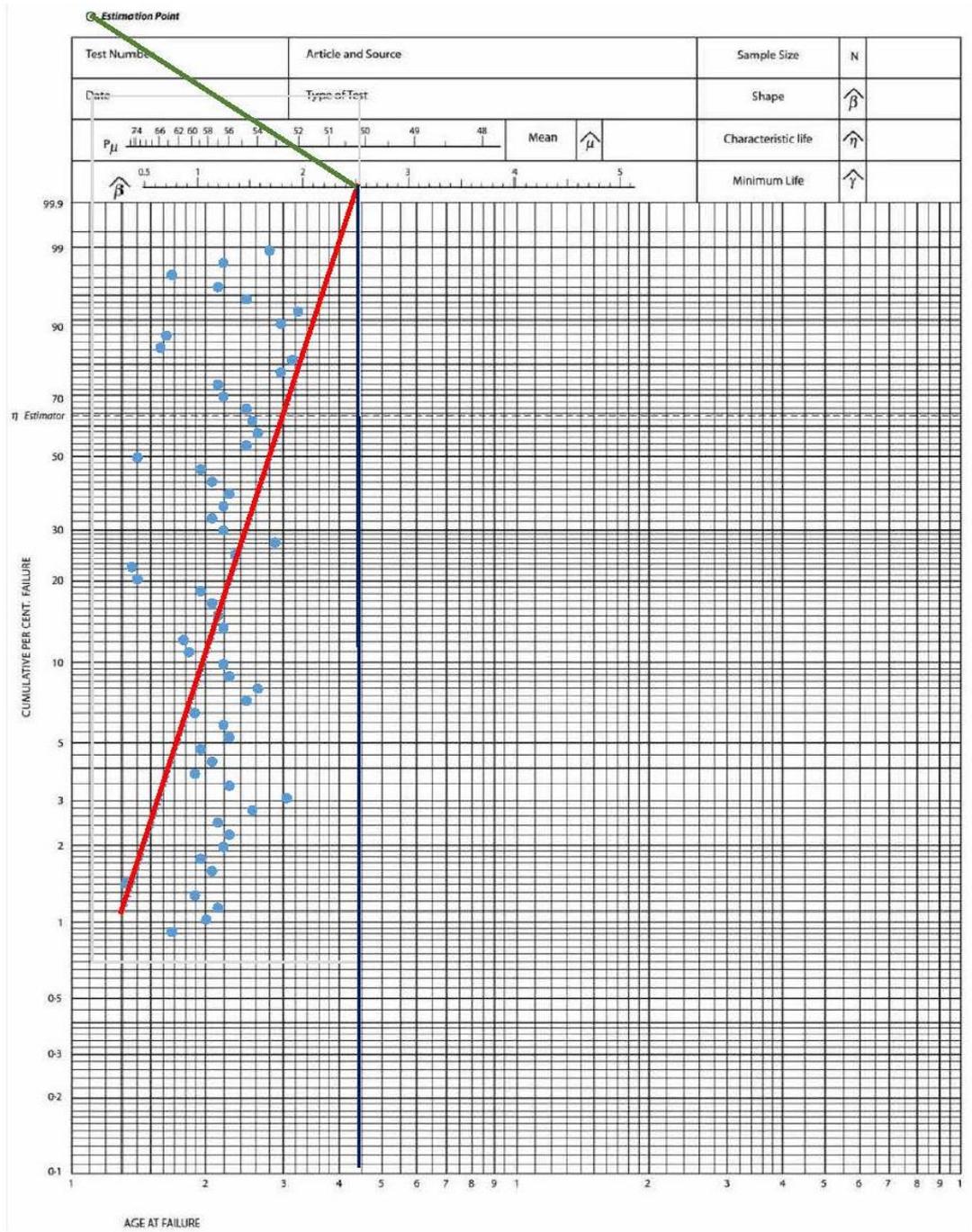
**Tabla 27:** Cálculo del rango medio en el método de Weibull Gráfico para selladora de alta frecuencia.

Número de fallas	To	Rango medio	Porcentaje de falla acumulativa
1	10	0,012	1,22%
2	16	0,030	2,96%
3	18	0,047	4,70%
4	14	0,064	6,45%
5	2	0,082	8,19%
6	17	0,099	9,93%
7	15	0,117	11,67%
8	19	0,134	13,41%
9	20	0,152	15,16%
10	18	0,169	16,90%
11	24	0,186	18,64%
12	30	0,204	20,38%
13	20	0,221	22,13%
14	14	0,239	23,87%
15	17	0,256	25,61%
16	15	0,274	27,35%
17	20	0,291	29,09%
18	19	0,308	30,84%
19	14	0,326	32,58%
20	23	0,343	34,32%
21	25	0,361	36,06%
22	20	0,378	37,80%
23	19	0,395	39,55%
24	13	0,413	41,29%
25	12	0,430	43,03%
26	19	0,448	44,77%
27	18	0,465	46,52%
28	17	0,483	48,26%
29	15	0,500	50,00%
30	4	0,517	51,74%
31	3	0,535	53,48%
32	21	0,552	55,23%
33	28	0,570	56,97%
34	19	0,587	58,71%
35	17	0,605	60,45%
36	19	0,622	62,20%

Número de fallas	To	Rango medio	Porcentaje de falla acumulativa
37	20	0,639	63,94%
38	17	0,657	65,68%
39	15	0,674	67,42%
40	4	0,692	69,16%
41	23	0,709	70,91%
42	25	0,726	72,65%
43	24	0,744	74,39%
44	23	0,761	76,13%
45	19	0,779	77,87%
46	18	0,796	79,62%
47	29	0,814	81,36%
48	31	0,831	83,10%
49	8	0,848	84,84%
50	9	0,866	86,59%
51	29	0,883	88,33%
52	32	0,901	90,07%
53	23	0,918	91,81%
54	18	0,936	93,55%
55	10	0,953	95,30%
56	19	0,970	97,04%
57	27	0,988	98,78%

Luego de obtener los pares ordenados constituidos por el tiempo de operación en horas y los rangos medios calculados, utilizamos el papel de Weibull para obtener los coeficientes que se usan en la fórmula de confiabilidad.

En la Figura 36 se muestran graficados los puntos y los coeficientes Beta y n que son usados en el cálculo de la confiabilidad.



**Figura 36:** Gráfica de Weibull selladora de alta frecuencia.

**Fuente:** Autor.

De la gráfica de Weibull se obtienen los siguientes coeficientes.

**Tabla 28:** Coeficientes de fallos para selladora de alta frecuencia.

$P\mu$	55
$\beta$	2,5
$n$	44

Con los valores obtenidos en la Tabla 28 se calcula la fiabilidad de las máquinas mediante la siguiente ecuación. (Ecuación 15)

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

$$R(t) = \exp \left[ - \left( \frac{10 - 0}{44} \right)^{2,5} \right]$$

$$R(t) = 0,9757 \approx 97,57\%$$

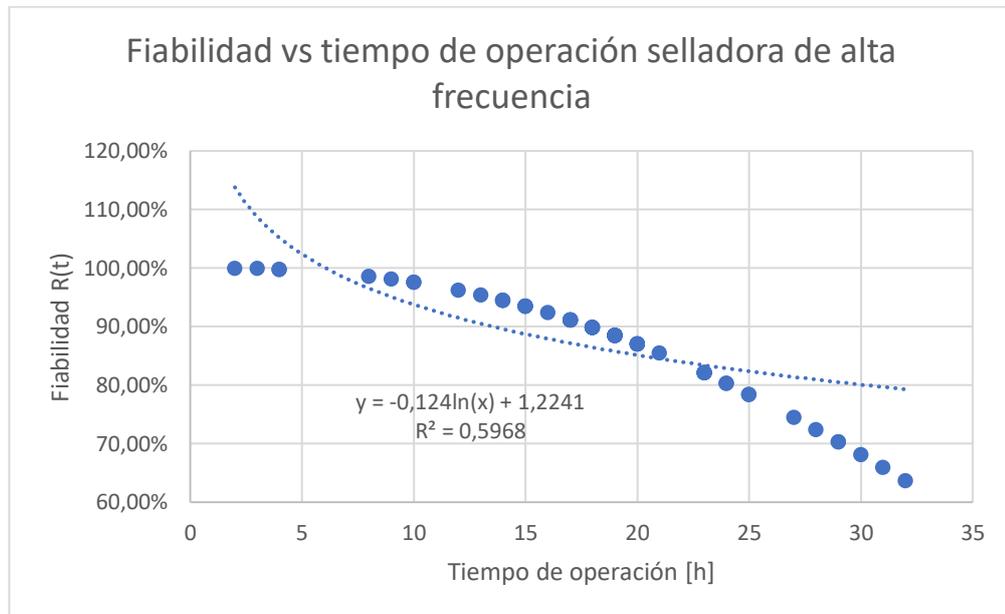
Para facilitar la obtención de la fiabilidad de las máquinas en cada tiempo de operación se utiliza una hoja de cálculo que describe los resultados obtenidos en la Tabla 28.

**Tabla 29:** Cálculo de fiabilidad mediante el método gráfico de la selladora de alta frecuencia.

Número de fallas	To	Rango medio	Porcentaje de falla acumulativa	R(t)	R(t) [%]
1	10	0,012	1,22%	0,976	97,57%
2	16	0,030	2,96%	0,923	92,34%
3	18	0,047	4,70%	0,898	89,85%
4	14	0,064	6,45%	0,944	94,45%
5	2	0,082	8,19%	1,000	99,96%
6	17	0,099	9,93%	0,911	91,14%
7	15	0,117	11,67%	0,934	93,44%
8	19	0,134	13,41%	0,885	88,47%
9	20	0,152	15,16%	0,870	87,00%
10	18	0,169	16,90%	0,898	89,85%
11	24	0,186	18,64%	0,803	80,27%
12	30	0,204	20,38%	0,681	68,12%
13	20	0,221	22,13%	0,870	87,00%
14	14	0,239	23,87%	0,944	94,45%
15	17	0,256	25,61%	0,911	91,14%
16	15	0,274	27,35%	0,934	93,44%
17	20	0,291	29,09%	0,870	87,00%
18	19	0,308	30,84%	0,885	88,47%
19	14	0,326	32,58%	0,944	94,45%

Número de fallas	To	Rango medio	Porcentaje de falla acumulativa	R(t)	R(t) [%]
20	23	0,343	34,32%	0,821	82,07%
21	25	0,361	36,06%	0,784	78,40%
22	20	0,378	37,80%	0,870	87,00%
23	19	0,395	39,55%	0,885	88,47%
24	13	0,413	41,29%	0,954	95,37%
25	12	0,430	43,03%	0,962	96,19%
26	19	0,448	44,77%	0,885	88,47%
27	18	0,465	46,52%	0,898	89,85%
28	17	0,483	48,26%	0,911	91,14%
29	15	0,500	50,00%	0,934	93,44%
30	4	0,517	51,74%	0,998	99,75%
31	3	0,535	53,48%	0,999	99,88%
32	21	0,552	55,23%	0,854	85,44%
33	28	0,570	56,97%	0,724	72,39%
34	19	0,587	58,71%	0,885	88,47%
35	17	0,605	60,45%	0,911	91,14%
36	19	0,622	62,20%	0,885	88,47%
37	20	0,639	63,94%	0,870	87,00%
38	17	0,657	65,68%	0,911	91,14%
39	15	0,674	67,42%	0,934	93,44%
40	4	0,692	69,16%	0,998	99,75%
41	23	0,709	70,91%	0,821	82,07%
42	25	0,726	72,65%	0,784	78,40%
43	24	0,744	74,39%	0,803	80,27%
44	23	0,761	76,13%	0,821	82,07%
45	19	0,779	77,87%	0,885	88,47%
46	18	0,796	79,62%	0,898	89,85%
47	29	0,814	81,36%	0,703	70,28%
48	31	0,831	83,10%	0,659	65,93%
49	8	0,848	84,84%	0,986	98,60%
50	9	0,866	86,59%	0,981	98,13%
51	29	0,883	88,33%	0,703	70,28%
52	32	0,901	90,07%	0,637	63,69%
53	23	0,918	91,81%	0,821	82,07%
54	18	0,936	93,55%	0,898	89,85%
55	10	0,953	95,30%	0,976	97,57%
56	19	0,970	97,04%	0,885	88,47%
57	27	0,988	98,78%	0,745	74,46%

De la Tabla 29 se obtiene el diagrama de confiabilidad vs tiempo de operación además de la línea de tendencia y el valor de  $R^2$ .



**Figura 37:** Gráfica de fiabilidad vs tiempo de operación de la selladora de alta frecuencia.

### **Interpretación:**

El valor de  $R^2$  expresa que existe correlación de los datos mediante una línea de tendencia logarítmica la cual permite describir en qué circunstancias de mantenimiento se encuentran las máquinas.

La fiabilidad más alta corresponde al 99,99% y se da a las 10 horas de funcionamiento de las máquinas, mientras que la mínima corresponde a 63,69% en un máximo de 32 horas de operación.

La gráfica muestra que mientras más se prolonga el tiempo de operación de la máquina selladora de alta frecuencia la confiabilidad disminuye, esto se da porque conforme más tiempo las máquinas pasen en operación existe mayor desgaste y por consecuencia más fallas.

Al igual que el resto de las máquinas las selladoras de alta frecuencia se encuentran en la zona de mantenimiento infantil dado que la confiabilidad decrece mientras el tiempo de operación es más prolongado, por ende, la tasa de fallos es decreciente.

### **Bitácora de mantenimiento preventivo basada en las curvas de fiabilidad de Weibull.**

Mediante las curvas de las estimaciones estadísticas de confiabilidad desarrolladas anteriormente por los métodos matemático y gráfico de Weibull se desarrolló una bitácora en donde se detallan cada una de las actividades que serán desarrolladas por el personal de mantenimiento con la finalidad de mitigar y evitar fallos en los componentes de todas las máquinas.

Se adoptó un código de colores, mostrado en la Tabla 30 para detallar de una manera clara y concisa la periodicidad de cada tarea de mantenimiento.

**Tabla 30:** Codificación de colores para las tareas de mantenimiento periódicas.

<b>Color</b>	<b>Frecuencia</b>
	Diaria
	Semanal
	Mensual
	Semestral
	Anual

### **Gamas de mantenimiento.**

Constituyen las actividades a realizarse por cada mes para el mantenimiento de todas las máquinas, la bitácora general se compone de las 12 gamas desarrolladas por cada mes en un año de operación de la maquinaria cada gama incluye mínimo 2 actividades por cada modo de fallo dando un total de 59 actividades mensuales para los distintos tipos de máquinas presentes en el taller.

Las gamas son mensuales y se muestran desde la Tabla 31 hasta la 42 para todos los meses del año.

**Tabla 31:** Gama de mantenimiento Enero.

Máquinas	N°	Actividades	Máquina	Enero																															
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
Prensa Troqueladora Hidráulica, Prensa Troqueladora hidráulica, Túnel termo encogedor, Cortadora de simbra, Selladora de alta frecuencia	1	Limpieza General de las máquinas	Todas las máquinas																																
	2	Limpieza de mesas y zonas de trabajo	Todas las máquinas																																
	3	limpieza de matrices	Troqueladoras mecánicas e hidráulicas																																
	4	Remoción de residuos	Todas las máquinas																																
	5	Limpieza de guías	Troqueladora hidráulica																																
	6	Limpieza de bocines	Todas las máquinas																																
	7	Limpieza de bandas transportadoras	Túnel termoencogedor																																
	8	Engrase de guías	Troqueladora hidráulica																																
	9	Engrase de cadenas y engranajes	Cortadora de simbra																																
	10	Verificación de funcionamiento de mecanismos	Todas las máquinas																																

Máquinas	N°	Actividades	Máquina	Enero																																
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31			
Prensa Troqueladora Hidráulica, Prensa Troqueladora hidráulica, Túnel termo-encogedor, Cortadora de simbra, Selladora de alta frecuencia	11	Verificación de componentes eléctricos	Todas las máquinas																																	
	12	Control de parámetros de funcionamiento	Todas las máquinas																																	
	13	Control de pérdidas de fluidos oleo hidráulicos	Troqueladora hidráulica																																	
	14	Control de Tensado de cadenas y bandas	Cortadora de simbra																																	
	15	Comprobación de cables y accesorios eléctricos	Todas las máquinas																																	
	16	Control de mangueras hidráulicas	Troqueladora hidráulica																																	
	17	Control de mangueras neumáticas	Cortadora de simbra																																	
	18	Control de buen funcionamiento de pulsadores	Todas las máquinas																																	

Máquinas	N°	Actividades	Máquina	Enero																														
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Prensa Troqueladora Hidráulica, Prensa Troqueladora hidráulica, Túnel termo encogedor, Cortadora de simbra, Selladora de alta frecuencia	19	Control de buen funcionamiento de contactores	Todas las máquinas																															
	20	Control de buen funcionamiento de sistemas de emergencia	Todas las máquinas																															
	21	Control de buen funcionamiento de botones STOP	Troqueladora mecánica																															
	22	Revisión de accesorios hidráulicos	Troqueladora hidráulica																															
	23	Revisión de accesorios neumáticos	Cortadora de simbra																															
	24	Control de conexiones eléctricas	Todas las máquinas																															
	25	Control de cilindros hidráulicos	Troqueladora hidráulica																															
	26	Control de cilindros neumáticos	Cortadora de simbra																															



Máquinas	N°	Actividades	Máquina	Enero																																	
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31				
Prensa Troqueladora Hidráulica, Prensa Troqueladora hidráulica, Túnel termo encogedor, Cortadora de simbra, Selladora de alta frecuencia	36	Control de ajuste de pernos	Todas las máquinas																																		
	37	Control de accesorios hidráulicos	Troqueladora hidráulica																																		
	38	Control de accesorios neumáticos	Cortadora de simbra																																		
	39	verificación de fugas	Troqueladora hidráulica																																		
	40	Lubricación del sistema de aire comprimido	Cortadora de simbra																																		
	41	Revisión de válvulas	Cortadora de simbra																																		
	42	Control de humedad del aire	Cortadora de simbra																																		
	43	Control de rodamientos	Todas las máquinas																																		
	44	Verificación de paralelismo en matrices	Troqueladoras mecánicas e hidráulicas																																		
	45	Afilado de cuchillas	Cortadora de simbra																																		

Máquinas	N°	Actividades	Máquina	Enero																																		
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31					
Prensa Troqueladora Hidráulica, Prensa Troqueladora hidráulica, Túnel termo encogedor, Cortadora de simbra, Selladora de alta frecuencia	46	Calibración de aire comprimido	Cortadora de simbra																																			
	47	Calibración de fluido oleo hidráulico	Troqueladora hidráulica																																			
	48	Lubricación de mecanismos	Todas las máquinas																																			
	49	Verificación de desgaste en casquillos	Todas las máquinas																																			
	50	Verificación de desgaste en rodamientos	Todas las máquinas																																			
	51	Control de desgaste en engranajes	Troqueladora mecánica																																			
	52	Cambio de cadenas en mal estado	Cortadora de simbra																																			
	53	Cambio de bandas en mal estado	Cortadora de simbra																																			
	54	Control de alineación	Todas las máquinas																																			
	55	Revisión de automatismos	Todas las máquinas																																			
	56	Control de fines de carrera	Todas las máquinas																																			

Máquinas	N°	Actividades	Máquina	Enero																														
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Prensa Troqueladora Hidráulica, Prensa Troqueladora hidráulica, Túnel termo encoogedor.	57	Revisión de desgaste en guías	Troqueladora hidráulica																															
	58	Cambio de accesorios eléctricos en mal estado	Todas las máquinas																															
	59	Revisión de mangueras neumáticas	Cortadora de simbra																															

**Tabla 32:** Gama de mantenimiento Febrero.

Máquinas	N°	Actividades	Máquina	Febrero																											
				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	
Prensa Troqueladora Hidráulica. Prensa Troqueladora hidráulica, Túnel termo encogedor, Cortadora de simbra, Selladora de alta frecuencia	1	Limpieza General de las máquinas	Todas las máquinas																												
	2	Limpieza mecanismos	Todas las máquinas																												
	3	Limpieza de áreas circundantes de las máquinas	Todas las máquinas																												
	4	Remoción de polvo y residuos	Todas las máquinas																												
	5	Limpieza de mesas de trabajo	Todas las máquinas																												
	6	Engrase de bocines	Troqueladoras mecánicas																												
	7	Lubricación de bandas transportadoras	Túnel termo encogedor																												
	8	Engrase de guías	Troqueladora hidráulica																												
	9	Engrase de cadenas y engranajes	Cortadora de simbra																												
	10	Verificación de motores eléctricos	Todas las máquinas																												
	11	Control de cableado de motores	Túnel termo encogedor																												

Máquinas	N°	Actividades	Máquina	Febrero																											
				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	
Prensa Troqueladora Hidráulica, Prensa Troqueladora hidráulica, Túnel termo encogedor, Cortadora de simbra, Selladora de alta frecuencia	12	Control de parámetros de funcionamiento	Todas las máquinas																												
	13	Control de fluidos oleo hidráulicos	Troqueladora hidráulica																												
	14	Control de componentes neumáticos	Cortadora de simbra																												
	15	Control de mandos de operación	Todas las máquinas																												
	16	Control de cañerías hidráulicas	Troqueladora hidráulica																												
	17	Verificación de conductos neumáticos	Cortadora de simbra																												
	18	Revisión de pulsadores y finales de carrera	Todas las máquinas																												
	19	Control de calidad de aire comprimido	Cortadora de simbra																												
	20	Control de botones de emergencia	Todas las máquinas																												
	21	Verificación de estado de engranajes	Troqueladora mecánica																												

Máquinas	N°	Actividades	Máquina	Febrero																											
				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	
Prensa Troqueladora Hidráulica, Prensa Troqueladora hidráulica, Túnel termo encogedor, Cortadora de simbra, Selladora de alta frecuencia	22	Revisión de válvulas neumáticas	Cortadora de simbra																												
	23	Revisión de válvulas hidráulicas	Troqueladora hidráulica																												
	24	Revisión de accesorios de conexión	Todas las máquinas																												
	25	Control de cilindros neumáticos	Cortadora de simbra																												
	26	Verificación de cuchillas y matrices	Troqueladoras mecánicas e hidráulicas																												
	27	Control de accesorios de calentamiento eléctrico	Túnel termo encogedor																												
	28	Revisión de bujes	Todas las máquinas																												
	29	Lubricación de mecanismos de bombas	Troqueladora hidráulica																												
	30	Control de calidad de fluido oleo hidráulico	Troqueladora hidráulica																												

Máquinas	N°	Actividades	Máquina	Febrero																											
				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	
Prensa Troqueladora Hidráulica, Prensa Troqueladora hidráulica, Túnel termo encogedor, Cortadora de simbra, Selladora de alta frecuencia	31	Verificación de mecanismos de alta frecuencia	Selladora de alta frecuencia																												
	32	Remoción de material sobrante	Selladora de alta frecuencia																												
	33	Cambio de cableado defectuoso	Todas las máquinas																												
	34	Verificación de escobillas del motor	Todas las máquinas																												
	35	Control de lubricación de rodamientos	Todas las máquinas																												
	36	Ajuste de pernos	Todas las máquinas																												
	37	Identificación de componentes defectuosos	Todas las máquinas																												
	38	Control de cuchillas	Cortadora de simbra																												
	39	Control de fugas de fluidos	Troqueladora hidráulica																												
	40	Control de secado de aire comprimido	Cortadora de simbra																												
	41	Revisión de cuchillas	Cortadora de simbra																												

Máquinas	N°	Actividades	Máquina	Febrero																											
				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	
Prensa Troqueladora Hidráulica, Prensa Troqueladora hidráulica, Túnel termo encogedor, Cortadora de simbra, Selladora de alta frecuencia	42	Control de humedad del aire	Cortadora de simbra																												
	43	Control de rodamientos	Todas las máquinas																												
	44	Control de cavidad resonante	Selladora de alta frecuencia																												
	45	Control de tubos de oscilación	Selladora de alta frecuencia																												
	46	Lubricación de unidad de mantenimiento	Cortadora de simbra																												
	47	Limpieza superficial	Todas las máquinas																												
	48	Remoción de residuos	Todas las máquinas																												
	49	Verificación de componentes de accionamiento	Todas las máquinas																												
	50	Revisión de mecanismos	Todas las máquinas																												
	51	Limpieza superficial	Todas las máquinas																												
	52	Limpieza de residuos de plástico	Cortadora de simbra																												
	53	Verificación de componentes electrónicos	Selladora de alta frecuencia																												

Máquinas	N°	Actividades	Máquina	Febrero																											
				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	
Prensa Troqueladora Hidráulica, Prensa Troqueladora hidráulica, Túnel termo encogedor, Cortadora de simbra, Selladora de alta frecuencia	54	Revisión de mandos de accionamiento	Todas las máquinas																												
	55	Revisión de automatismos	Todas las máquinas																												
	56	Control de luces piloto	Todas las máquinas																												
	57	Verificación de desgaste en elementos	Todas las máquinas																												
	58	Cambio de accesorios defectuosos	Todas las máquinas																												
	59	Cambio de mangueras defectuosas	Troqueladora hidráulica																												

Tabla 33: Gama de mantenimiento Marzo.

Máquinas	N°	Actividades	Máquina	Marzo																														
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Prensa Troqueladora Hidráulica, Prensa Troqueladora hidráulica, Túnel termo encogedor, Cortadora de simbra, Selladora de alta frecuencia	1	Lubricación de mecanismos	Todas las máquinas																															
	2	Revisión de motores	Todas las máquinas																															
	3	Revisión de bombas	Troqueladora hidráulica																															
	4	Revisión de fines de carrera	Todas las máquinas																															
	5	Revisión de rodamientos	Todas las máquinas																															
	6	Verificación de lubricación en engranajes	Troqueladoras mecánicas																															
	7	Revisión de motores	Todas las máquinas																															
	8	Verificación de mecanismos	Todas las máquinas																															
	9	Revisión de correa	Cortadora de simbra																															
	10	Lubricación de rodamientos	Todas las máquinas																															
	11	Revisión de temperatura	Túnel termo encogedor																															

Máquinas	N°	Actividades	Máquina	Marzo																														
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Prensa Troqueladora Hidráulica, Prensa Troqueladora hidráulica, Túnel termo encogedor, Cortadora de simbra, Selladora de alta frecuencia	12	Revisión de motor de accionamiento	Todas las máquinas																															
	13	Verificación de sistema de piñones	Troqueladora mecánica																															
	14	Revisión de cadenas	Cortadora de simbra																															
	15	Revisión de bujes	Todas las máquinas																															
	16	Revisión de mangueras	Troqueladora hidráulica																															
	17	Revisión de unidad de mantenimiento neumática	Cortadora de simbra																															
	18	Verificación de sistema de piñones	Troqueladora mecánica																															
	19	Revisión de poleas	Cortadora de simbra																															
	20	Revisión de la estructura de la máquina	Todas las máquinas																															
	21	Revisión de mangueras neumáticas	Cortadora de simbra																															

Máquinas	N°	Actividades	Máquina	Marzo																															
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
Prensa Troqueladora Hidráulica, Prensa Troqueladora hidráulica, Túnel termo encogedor, Cortadora de simbra, Selladora de alta frecuencia	22	Revisión de unidad de mantenimiento	Cortadora de simbra																																
	23	Verificación de sistema generador de alta frecuencia	Selladora de alta frecuencia																																
	24	Revisión de cavidad resonante	Selladora de alta frecuencia																																
	25	Revisión de Tubos Osciladores	Selladora de alta frecuencia																																
	26	Control de motores eléctricos	Todas las máquinas																																
	27	Revisión de guías	Troqueladoras mecánicas e hidráulicas																																
	28	Control de bujes y elementos de sujeción	Todas las máquinas																																
	29	Control de estabilidad	Todas las máquinas																																
	30	Verificación de electroválvulas	Cortadora de simbra																																



Máquinas	Nº	Actividades	Máquina	Marzo																														
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Prensa Troqueladora Hidráulica, Prensa Troqueladora hidráulica, Túnel termo encogedor, Cortadora de simbra, Selladora de alta frecuencia	43	Control de temperatura de túnel de termosellado	Túnel termo encogedor																															
	44	Comprobación de matrices	Troqueladoras mecánicas																															
	45	Cambio de cuchillas defectuosas	Cortadora de simbra																															
	46	Control de nivel de fluido oleo hidráulico	Troqueladora hidráulica																															
	47	Calibración de fluido oleo hidráulico	Troqueladora hidráulica																															
	48	Lubricación de engranes	Troqueladora mecánica																															
	49	Engrase de cadenas	Cortadora de simbra																															
	50	Cambio de accesorios defectuosos	Todas las máquinas																															
	51	Control de Fugas	Troqueladora hidráulica																															
	52	Limpieza de cajas de velocidades	Troqueladora mecánica																															

Máquinas	N°	Actividades	Máquina	Marzo																																	
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31				
Prensa Troqueladora Hidráulica, Prensa Troqueladora hidráulica, Túnel termo encogedor, Cortadora de simbra, Selladora de alta frecuencia	53	Revisión de poleas	Troqueladora mecánica																																		
	54	Revisión de bandas	Cortadora de simbra																																		
	55	Revisión de automatismos	Todas las máquinas																																		
	56	Calibración de automatismos	Todas las máquinas																																		
	57	Control de desgaste de bujes	Troqueladora hidráulica																																		
	58	Cambio de bocines	Todas las máquinas																																		
	59	Sellado de accesorios defectuosos	Todas las máquinas																																		

Tabla 34: Gama de mantenimiento Abril.

Máquinas	N°	Actividades	Máquinas	Abril																															
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
Prensa Troqueladora Hidráulica, Prensa Troqueladora Hidráulica, Túnel termo encogedor, Cortadora de simbra, Selladora de alta frecuencia	1	Revisión de mangueras y cañerías	Troqueladora hidráulica																																
	2	Revisar órganos de tracción	Todas las máquinas																																
	3	Revisión de engranajes y correas	Todas las máquinas																																
	4	Limpieza de depósitos	Troqueladora hidráulica																																
	5	Revisión de bomba oleo hidráulica	Troqueladora hidráulica																																
	6	Ajuste de pernos de la mesa de trabajo	Troqueladoras mecánicas e hidráulicas																																
	7	Revisión de cubiertas de seguridad	Todas las máquinas																																
	8	Comprobación de velocidad de giro del motor	Todas las máquinas																																

Máquinas	N°	Actividades	Máquinas	Abril																																	
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31				
Prensa Troqueladora Hidráulica, Prensa Troqueladora Hidráulica, Túnel termo encogedor, Cortadora de simbra, Selladora de alta frecuencia	9	Verificación de sistemas de accionamiento	Todas las máquinas							■																										■	
	10	Verificación de volante	Troqueladora mecánica																																	■	
	11	Revisión de estado de ventiladores	Selladora de alta frecuencia																																	■	
	12	Revisión de cubiertas de seguridad	Selladora de alta frecuencia																																	■	
	13	Comprobación de velocidad de transportación	Túnel termo encogedor								■																									■	
	14	Verificación de niquelinas	Túnel termo encogedor																																		■
	15	Revisión de panel de visualización	Cortadora de simbra																																	■	
	16	Revisión de mangueras	Cortadora de simbra																																		■
	17	Revisión de unidad de mantenimiento neumática	Cortadora de simbra																																		■

Máquinas	Nº	Actividades	Máquinas	Abril																															
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
Prensa Troqueladora Hidráulica, Prensa Troqueladora Hidráulica, Túnel termo encogedor, Cortadora de simbra, Selladora de alta frecuencia	18	Verificación de sistema de piñones	Troqueladora mecánica																																
	19	Revisión de poleas	Troqueladora mecánica																																
	20	Revisión de la estructura de la máquina	Todas las máquinas																																
	21	Revisión del sistema de nivelación	Todas las máquinas																																
	22	Revisión de tornillos	Todas las máquinas																																
	23	Verificación de electrodos	Selladora de alta frecuencia																																
	24	Verificación de componentes del tablero de control	Todas las máquinas																																
	25	Comprobación de desgaste en bocines	Troqueladoras mecánicas e hidráulicas																																
	26	Revisión de conexiones	Todas las máquinas																																

Máquinas	N°	Actividades	Máquinas	Abril																																
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31			
Prensa Troqueladora Hidráulica, Prensa Troqueladora Hidráulica, Tunel termo encogedor, Cortadora de simbra, Selladora de alta frecuencia	27	Revisión de apriete en pernos	Todas las máquinas																																	
	28	Ajuste de componentes del motor	Todas las máquinas																																	
	29	Control de nivel de fluido oleo hidráulico	Troqueladora hidráulica																																	
	30	Control de válvulas hidráulicas	Troqueladora hidráulica																																	
	31	Reparación de componentes defectuosos	Todas las máquinas																																	
	32	Limpieza de polvo	Todas las máquinas																																	
	33	Control de escobillas del motor	Todas las máquinas																																	
	34	Ajuste de borneras y contactos	Todas las máquinas																																	
	35	Control de potencia	Troqueladora mecánica																																	
	36	Ajuste de tornillos	Todas las máquinas																																	

Máquinas	N°	Actividades	Máquinas	Abril																																	
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31				
Prensa Troqueladora Hidráulica, Prensa Troqueladora Hidráulica, Túnel termo encogedor, Cortadora de simbra, Selladora de alta frecuencia	37	Ajuste de accesorios hidráulicos	Troqueladora hidráulica																																		
	38	Ajuste de accesorios neumáticos	Cortadora de simbra																																		
	39	Control eléctrico del motor	Todas las máquinas																																		
	40	Sellado de fugas	Troqueladora hidráulica																																		
	41	Verificación de válvulas	Troqueladora hidráulica																																		
	42	Revisión de lubricación en guías	Troqueladoras mecánicas e hidráulicas																																		
	43	Control de niquelinas	Túnel termo encogedor																																		
	44	Reemplazo de engranajes en mal estado	Troqueladoras mecánicas																																		
	45	Cambio de accesorios neumáticos	Cortadora de simbra																																		
	46	Cambio de accesorios hidráulicos	Troqueladora hidráulica																																		



Máquinas	N°	Actividades	Máquinas	Abril																													
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
	57	Eliminación de óxido	Todas las máquinas																														
	58	Cambio de bocines	Todas las máquinas																														
	59	Control de temperatura	Todas las máquinas																														

**Tabla 35:** Gama de mantenimiento Mayo.

Máquinas	N°	Actividades	Máquinas	Mayo																															
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
Prensa Troqueladora Hidráulica, Prensa Troqueladora hidráulica, Túnel termo encogedor, Cortadora de simbra, Selladora de alta frecuencia	1	Revisión de elementos de sujeción	Todas las máquinas																																
	2	Comprobación de mandos	Todas las máquinas																																
	3	Verificación del sistema de seguridad	Todas las máquinas																																
	4	Revisión de rodamientos	Todas las máquinas																																
	5	Limpieza de filtros	Troqueladora hidráulica																																
	6	Revisión de excentricidad del mecanismo principal	Troqueladora mecánica																																
	7	Verificación de control de operación	Todas las máquinas																																
	8	Verificación del sistema de seguridad	Todas las máquinas																																
	9	Revisión guías	Troqueladora mecánica																																

Máquinas	N°	Actividades	Máquinas	Mayo																																				
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31							
	10	Limpieza de Bastidor	Selladora de alta frecuencia																																					
	11	Verificación de la presión de aire	Cortadora de simbra																																					
	12	Verificación de control de operación	Cortadora de simbra																																					
	13	Verificación del compresor	Cortadora de simbra																																					
	14	Revisión de humedad del aire	Cortadora de simbra																																					
	15	Calibración de velocidad de alimentación	Cortadora de simbra																																					
	16	Revisión de mangueras neumáticas	Cortadora de simbra																																					
	17	Revisión de unidad de mantenimiento	Cortadora de simbra																																					
	18	Verificación de sistema generador de la alta frecuencia	Selladora de alta frecuencia																																					

Máquinas	N°	Actividades	Máquinas	Mayo																																		
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31					
	19	Revisión de cavidad resonante	Selladora de alta frecuencia																																			
	20	Revisión de Tubos Osciladores	Selladora de alta frecuencia																																			
	21	Revisión de mandos de accionamiento neumático	Selladora de alta frecuencia																																			
	22	Revisión de placas soporte	Troqueladoras mecánicas y neumáticas																																			
	23	Limpieza de mesa de trabajo	Todas las máquinas																																			
	24	Lubricación de ejes guía	Troqueladoras mecánicas e hidráulicas																																			
	25	Lubricación de cabezal guía	Troqueladoras mecánicas e hidráulicas																																			
	26	Revisión de conexiones	Todas las máquinas																																			
	27	Revisión de tornillos	Todas las máquinas																																			

Máquinas	N°	Actividades	Máquinas	Mayo																																
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31			
	28	Ajuste de componentes neumáticos	Cortadora de simbra																																	
	29	Control de fluidos oleo hidráulicos	Troqueladora hidráulica																																	
	30	Revisión de válvulas	Cortadora de simbra																																	
	31	Revisión de mandos de accionamiento neumático	Cortadora de simbra																																	
	32	Limpieza general de máquinas	Todas las máquinas																																	
	33	Control de velocidad de motor	Troqueladoras mecánicas e hidráulicas																																	
	34	Ajuste de borneras y contactos	Todas las máquinas																																	
	35	Control de potencia	Troqueladora mecánica																																	
	36	Ajuste de tornillos	Todas las máquinas																																	
	37	Ajuste hidráulico	Troqueladora hidráulica																																	

Máquinas	Nº	Actividades	Máquinas	Mayo																														
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
	38	Ajuste de presión de aire	Cortadora de simbra																															
	39	Control eléctrico del motor	Todas las máquinas																															
	40	Sellado de fugas	Troqueladora hidráulica																															
	41	Verificación de válvulas	Troqueladora hidráulica																															
	42	Revisión de lubricación en guías	Troqueladoras mecánicas e hidráulicas																															
	43	Control de niquelinas	Túnel termo encogedor																															
	44	Reemplazo de engranajes en mal estado	Troqueladoras mecánicas																															
	45	Cambio de accesorios neumáticos	Cortadora de simbra																															
	46	Cambio de accesorios hidráulicos	Troqueladora hidráulica																															
	47	Calibración de temperatura	Túnel termo encogedor																															

Máquinas	N°	Actividades	Máquinas	Mayo																													
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
	48	Control de muelles y cadenas	Todas las máquinas																														
	49	Engrase general	Todas las máquinas																														
	50	Cambio de accesorios defectuosos	Todas las máquinas																														
	51	Control de Fugas	Troqueladora hidráulica																														
	52	Limpieza de cajas de velocidades	Todas las máquinas																														
	53	Revisión de presión de servicio	Cortadora de simbra																														
	54	Calibración de válvulas	Troqueladora hidráulica																														
	55	Calibración de plcs	Troqueladoras mecánicas e hidráulicas																														
	56	Ajuste de aire del compresor	Cortadora de simbra																														
	57	Eliminación de polvo	Todas las máquinas																														

Máquinas	N°	Actividades	Máquinas	Mayo																															
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
	58	Cambio de componentes electrónicos	Todas las máquinas																																
	59	Control de calibración	Todas las máquinas																																

**Tabla 36:** Gama de mantenimiento Junio.

Máquinas	N°	Actividades	Máquina	Junio																														
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Prensa Troqueladora Hidráulica, Prensa Troqueladora hidráulica, Túnel termo encogedor, Cortadora de simbra, Selladora de alta frecuencia	1	Lubricación de mecanismos	Todas las máquinas																															
	2	Lubricación de rodamientos	Todas las máquinas																															
	3	Verificación de frenos y sistemas de seguridad	Todas las máquinas																															
	4	Verificación de guías	Troqueladoras mecánicas e hidráulicas																															
	5	Verificación de rodamientos lineales de guías	Troqueladoras mecánicas e hidráulicas																															
	6	Lubricación de caja de transmisión	Troqueladora mecánica																															
	7	Revisión eléctrica del motor	Todas las máquinas																															
	8	Lubricación del volante	Troqueladora mecánica																															
	9	Ajuste de la porta punzones	Troqueladora mecánica																															
	10	Lubricación de la porta punzones	Troqueladora mecánica																															
	11	Lubricación de piñones	Troqueladora mecánica																															

Máquinas	N°	Actividades	Máquina	Junio																																					
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31								
Prensa Troqueladora Hidráulica, Prensa Troqueladora hidráulica, Túnel termo encogedor, Cortadora de simbra, Selladora de alta frecuencia	12	Lubricación de cadenas	Cortadora de simbra																																						
	13	Verificar soldadura en componentes electrónicos	Todas las máquinas																																						
	14	Ajuste general de la máquina	Todas las máquinas																																						
	15	Lubricación del motor de accionamiento	Cortadora de simbra																																						
	16	Lubricación de piñones	Troqueladora mecánica																																						
	17	Lubricación de poleas	Troqueladoras mecánicas																																						
	18	Cambio de correas defectuosas	Troqueladora mecánica																																						
	19	Verificación de conectores	Todas las máquinas																																						
	20	Verificación de mangueras neumáticas	Cortadora de simbra																																						
	21	Cambio de tornillos defectuosos	Todas las máquinas																																						
	22	Lubricación de unidad de mantenimiento	Cortadora de simbra																																						

Máquinas	Nº	Actividades	Máquina	Junio																																		
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31					
Prensa Troqueladora Hidráulica, Prensa Troqueladora hidráulica, Túnel termo encogedor, Cortadora de simbra, Selladora de alta frecuencia	23	Limpieza de electroválvulas	Cortadora de simbra																																			
	24	Revisión de topes y bajadas	Troqueladora mecánica																																			
	25	Cambio de mangueras neumáticas defectuosas	Cortadora de simbra																																			
	26	Revisión de botones Stop	Selladora de alta frecuencia																																			
	27	Revisión de finales de carrera	Selladora de alta frecuencia																																			
	28	Revisión de componentes neumáticos	Cortadora de simbra																																			
	29	Limpieza de residuos	Troqueladoras mecánicas e hidráulicas																																			
	30	Cambio de sellos y elementos de caucho	Selladora de alta frecuencia																																			
	31	Remoción de residuos	Troqueladora hidráulica																																			
	32	Cambio de conexiones	Todas las máquinas																																			
	33	Cambio de escobillas del motor	Troqueladoras neumáticas e hidráulicas																																			



Máquinas	Nº	Actividades	Máquina	Junio																																	
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31				
Prensa Troqueladora Hidráulica, Prensa Troqueladora hidráulica, Túnel termo encogedor, Cortadora de simbra, Selladora de alta frecuencia	45	Control de afilado de cuchillas	Cortadora de simbra																																		
	46	Control de tensado de cadenas	Cortadora de simbra																																		
	47	Control de tensado de bandas	Troqueladora mecánica																																		
	48	Control de engranajes	Troqueladora mecánica																																		
	49	Engrase de guías	Troqueladora hidráulica																																		
	50	Control de paralelismo de las matrices y cuchillas	Troqueladoras mecánicas e hidráulicas																																		
	51	Control de estanqueidad de válvulas neumáticas	Troqueladora hidráulica																																		
	52	Control de estanqueidad de válvulas hidráulicas	Troqueladora hidráulica																																		
	53	Control de nivel de aceite en unidades de mantenimiento	Cortadora de simbra																																		

Máquinas	N°	Actividades	Máquina	Junio																														
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Prensa Troqueladora Hidráulica, Túnel termo encogedor, Cortadora de simbra, Selladora de alta frecuencia	54	Control de volumen de fluido oleo hidráulico	Troqueladora hidráulica																														31	
	55	Limpieza de columnas de matrices	Troqueladoras mecánicas e hidráulicas																														31	
	56	Limpieza de guías antirrotación	Selladora de alta frecuencia																														31	
	57	Remoción de residuos	Todas las máquinas							8						15							22										31	
	58	Control de pérdidas de aire en accesorios	Cortadora de simbra																															31
	59	Control de condición de mangueras neumáticas	Cortadora de simbra																															31

**Tabla 37:** Gama de mantenimiento Julio.

Máquinas	N°	Actividades	Máquinas	Julio																																		
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31					
Prensa Troqueladora Hidráulica, Prensa Troqueladora hidráulico, Túnel termo encogedor, Cortadora de simbra, Selladora de alta frecuencia	1	Extracción de residuos de material	Troqueladoras mecánicas e hidráulicas																																			
	2	Lubricación de guías de la mesa	Troqueladoras mecánicas e hidráulicas																																			
	3	Limpieza de guías	Troqueladora hidráulica																																			
	4	Limpieza de rodamientos lineales	Troqueladoras mecánicas e hidráulicas																																			
	5	Lubricación de rodamientos lineales	Troqueladoras mecánicas e hidráulicas																																			
	6	Reparación de niquelinas	Túnel termo encogedor																																			
	7	Verificación de cableado en mal estado	Todas las máquinas																																			
	8	Verificación de componente electrónicos en mal estado	Todas las máquinas																																			
	9	Ajuste de tornillos	Todas las máquinas																																			
	10	Ajuste de cadena	Cortadora de simbra																																			

Máquinas	N°	Actividades	Máquinas	Julio																																													
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31																
Prensa Troqueladora Hidráulica, Prensa Troqueladora hidráulico, Túnel termo encogedor, Cortadora de simbra, Selladora de alta frecuencia	11	Reparación de niquelinas	Túnel termo encogedor																																														
	12	Verificación de cableado en mal estado	Todas las máquinas																																														
	13	Verificación de componente electrónicos en mal estado	Todas las máquinas																																														
	14	Ajuste de tornillos	Todas las máquinas																																														
	15	Ajuste de cadena	Cortadora de simbra																																														
	16	Ajuste de conectores	Todas las máquinas																																														
	17	Ajuste de bandas	Troqueladoras mecánicas																																														
	18	Verificación de presión	Cortadora de simbra																																														
	19	Ajuste de tornillos	Todas las máquinas																																														
	20	Ajuste de caja de engranes	Troqueladora mecánica																																														
	21	Identificación de acoples defectuosos	Todas las máquinas																																														
	22	Ajuste de acoples defectuosos	Todas las máquinas																																														

Máquinas	N°	Actividades	Máquinas	Julio																																							
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31										
Prensa Troqueladora Hidráulica, Prensa Troqueladora hidráulico, Túnel termo encogedor, Cortadora de simbra, Selladora de alta frecuencia	23	Lubricación y limpieza de cilindro neumático	Cortadora de simbra																																								
	24	Ajuste de tornillos del sistema de nivelación	Todas las máquinas																																								
	25	Cambio de bocines	Todas las máquinas																																								
	26	Engrase de guías	Todas las máquinas																																								
	27	Engrase de cadenas	Cortadora de simbra																																								
	28	Control de circulación de aire	Todas las máquinas																																								
	29	Control de circulación de fluido oleo hidráulico	Troqueladora hidráulica																																								
	30	Control de tuberías rígidas	Troqueladora hidráulica																																								
	31	Control de tuberías flexibles	Troqueladora hidráulica																																								
	32	Engrase de correderas	Todas las máquinas																																								
	33	Engrase de guías	Troqueladora hidráulica																																								
	34	Revisión de ejes	Túnel termo encogedor																																								

Máquinas	N°	Actividades	Máquinas	Julio																																				
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31							
Prensa Troqueladora Hidráulica, Prensa Troqueladora hidráulico, Tínel termo encogedor, Cortadora de simbra, Selladora de alta frecuencia	35	Engrase de caja de velocidades	Todas las máquinas																																					
	36	Revisión del circuito hidráulico	Troqueladora hidráulica																																					
	37	Control de conexión de tuberías flexibles	Troqueladora hidráulica																																					
	38	Control de conexión de tuberías rígidas	Troqueladora hidráulica																																					
	39	Revisión de resistencias	Túnel termo encogedor																																					
	40	Revisión de componentes electrónicos	Selladora de alta frecuencia																																					
	41	Revisión de automatismos	Todas las máquinas																																					
	42	Control de circulación de aire	Todas las máquinas																																					
	43	Control de cañerías	Túnel termo encogedor																																					
	44	Limpieza de matrices	Troqueladoras mecánicas e hidráulicas																																					
	45	Control de afilado de cuchillas	Cortadora de simbra																																					





**Tabla 38:** Gama de mantenimiento Agosto.

Máquinas	N°	Actividades	Máquina	Agosto																														
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Prensa Troqueladora Hidráulica, Prensa Troqueladora hidráulica, Túnel termo encogedor, Cortadora de simbra, Selladora de alta frecuencia	1	Limpieza general de las máquinas	Todas las máquinas																															
	2	Comprobación de mandos	Todas las máquinas																															
	3	Verificación del sistema de seguridad	Troqueladoras mecánicas e hidráulicas																															
	4	Revisión de rodamientos	Todas las máquinas																															
	5	Limpieza de filtros	Troqueladora hidráulica																															
	6	Cambio de fluido oleo hidráulico	Troqueladora hidráulica																															
	7	Cambio de filtros	Troqueladora hidráulica																															
	8	Verificación del cableado eléctrico	Todas las máquinas																															
	9	Limpieza de sensores	Todas las máquinas																															
	10	Limpieza de bomba hidráulica	Troqueladora hidráulica																															

Máquinas	N°	Actividades	Máquina	Agosto																																		
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31					
Prensa Troqueladora Hidráulica, Prensa Troqueladora hidráulica, Túnel termo encogedor, Cortadora de simbra, Selladora de alta frecuencia	11	Cambio de contactores y finales de carrera	Todas las máquinas																																			
	12	Revisión de cableado defectuoso	Todas las máquinas																																			
	13	Cambio de cableado defectuoso	Todas las máquinas																																			
	14	Cambio de luces piloto y órganos de mando	Todas las máquinas																																			
	15	Limpieza de residuos de la mesa de trabajo	Troqueladora mecánica																																			
	16	Cambio de contactores y finales de carrera	Todas las máquinas																																			
	17	Revisión de cableado defectuoso	Todas las máquinas																																			
	18	Cambio de cableado defectuoso	Todas las máquinas																																			
	19	Cambio de luces piloto y órganos de mando	Todas las máquinas																																			
	20	Limpieza de residuos del interior	Troqueladoras mecánicas e hidráulicas																																			

Máquinas	N°	Actividades	Máquina	Agosto																														
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Prensa Troqueladora Hidráulica, Prensa Troqueladora hidráulica, Túnel termo encogedor, Cortadora de simbra, Selladora de alta frecuencia	21	Cambio de componentes del sistema eléctrico	Todas las máquinas																															
	22	Revisión de cableado defectuoso	Todas las máquinas																															
	23	Cambio de cableado defectuoso	Todas las máquinas																															
	24	Cambio de luces piloto y componentes de mando	Todas las máquinas																															
	25	Limpieza de residuos	Todas las máquinas																															
	26	Cambio de componentes del sistema eléctrico	Todas las máquinas																															
	27	Revisión de cableado defectuoso	Todas las máquinas																															
	28	Cambio de cableado defectuoso	Todas las máquinas																															
	29	Verificación de componentes de la prensa	Troqueladora mecánica																															



Máquinas	N°	Actividades	Máquina	Agosto																															
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
Prensa Troqueladora Hidráulica, Prensa Troqueladora hidráulica, Túnel termo encogedor, Cortadora de simbra, Selladora de alta frecuencia	41	Verificación de válvulas	Troqueladora hidráulica																																
	42	Revisión de lubricación en guías	Troqueladora hidráulica																																
	43	Control de niquelinas	Túnel termo encogedor																																
	44	Reemplazo de engranajes en mal estado	Todas las máquinas																																
	45	Cambio de accesorios neumáticos	Cortadora de simbra																																
	46	Cambio de accesorios hidráulicos	Troqueladora hidráulica																																
	47	Calibración de temperatura	Túnel termo encogedor																																
	48	Control de muelles y cadenas	Selladora de alta frecuencia																																
	49	Engrase general	Todas las máquinas																																
	50	Cambio de accesorios defectuosos	Todas las máquinas																																
	51	Control de Fugas	Troqueladora hidráulica																																

Máquinas	Nº	Actividades	Máquina	Agosto																																
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31			
Prensa Troqueladora Hidráulica, Prensa Troqueladora hidráulica, Túnel termo encogedor, Cortadora de simbra, Selladora de alta frecuencia	52	Limpieza de cajas de velocidades	Troqueladora mecánica																																	
	53	Revisión de presión de servicio	Cortadora de simbra																																	
	54	Calibración de válvulas	Cortadora de simbra																																	
	55	Calibración de pls	Troqueladora hidráulica																																	
	56	Ajuste de aire del compresor	Cortadora de simbra																																	
	57	Eliminación de polvo	Todas las máquinas																																	
	58	Control de paralelismo en las mesas de las troqueladoras	Troqueladoras mecánicas e hidráulicas																																	
	59	Control de instalaciones de aire	Cortadora de simbra																																	

**Tabla 39:** Gama de mantenimiento Septiembre.

Máquinas	N°	Actividades	Máquina	Septiembre																																
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31			
Prensa Troqueladora Hidráulica. Prensa Troqueladora hidráulica. Túnel termo encojedor, Cortadora de simbra, Selladora de alta frecuencia	1	Limpieza General de las máquinas	Todas las máquinas																																	
	2	Limpieza de mesas y zonas de trabajo	Todas las máquinas																																	
	3	limpieza de matrices	Troqueladoras mecánicas e hidráulicas																																	
	4	Remoción de residuos	Todas las máquinas																																	
	5	Limpieza de guías	Troqueladoras mecánicas e hidráulicas																																	
	6	Lubricación de guías de la mesa	Troqueladora hidráulica																																	
	7	Cambio de rodamientos	Todas las máquinas																																	
	8	Verificación de sistemas de seguridad	Todas las máquinas																																	
	9	Cambio de finales de carrera y contactores	Todas las máquinas																																	
	10	Cambio de cableado defectuoso	Todas las máquinas																																	
	11	Lubricación de guías de la mesa	troqueladora hidráulica																																	
	12	Cambio de rodamientos	Todas las máquinas																																	
	13	Verificación de sistemas de accionamiento	Todas las máquinas																																	

Máquinas	N°	Actividades	Máquina	Septiembre																																
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31			
Prensa Troqueladora Hidráulica, Prensa Troqueladora hidráulica, Túnel termo encogedor, Cortadora de simbra, Selladora de alta frecuencia	14	Lubricación de engranajes	Todas las máquinas																																	
	15	Lubricación de volante de inercia	Troqueladora mecánica																																	
	16	Lubricación de guías	Troqueladora hidráulica																																	
	17	Cambio de rodamientos	Troqueladora mecánica																																	
	18	Verificación de sistemas de accionamiento	Todas las máquinas																																	
	19	Lubricación de mecanismo cadena engrane	Cortadora de simbra																																	
	20	Verificación de banda transportadora	Túnel termo encogedor																																	
	21	Lubricación de unidad de mantenimiento	Cortadora de simbra																																	
	22	Cambio de mangueras defectuosas	Troqueladora hidráulica																																	
	23	Verificación de sistemas de accionamiento	Todas las máquinas																																	
	24	Lubricación de mecanismos	Todas las máquinas																																	
	25	Verificación de rodillos del sistema de alimentación	Túnel termo encogedor																																	
	26	Lubricación de unidad de mantenimiento	Cortadora de simbra																																	
	27	Cambio de mangueras y accesorios	Todas las máquinas																																	

Máquinas	N°	Actividades	Máquina	Septiembre																																
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31			
Prensa Troqueladora Hidráulica, Prensa Troqueladora hidráulica, Tunel termo encogedor, Cortadora de simbra, Selladora de alta frecuencia	28	Mantenimiento del tubo oscilador	Selladora de alta frecuencia																																	
	29	Mantenimiento de la cavidad resonante	Selladora de alta frecuencia																																	
	30	Calibración del sistema de sintonía	Selladora de alta frecuencia																																	
	31	Ajuste de borneras y contactos	Todas las máquinas																																	
	32	Control de potencia	Troqueladora hidráulica																																	
	33	Ajuste de tornillos	Todas las máquinas																																	
	34	Ajuste hidráulico	Troqueladora hidráulica																																	
	35	Ajuste de presión de aire	Cortadora de simbra																																	
	36	Ajuste de tornillos	Todas las máquinas																																	
	37	Ajuste hidráulico	Troqueladora hidráulica																																	
	38	Ajuste de presión de aire	Cortadora de simbra																																	
	39	Control de tuberías rígidas	Todas las máquinas																																	
	40	Control de tuberías flexibles	Todas las máquinas																																	
	41	Engrase de correderas	Cortadora de simbra																																	

Máquinas	N°	Actividades	Máquina	Septiembre																														
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Prensa Troqueladora Hidráulica, Prensa Troqueladora hidráulica, Túnel termo encogedor, Cortadora de simbra, Selladora de alta frecuencia	42	Engrase de guías	Cortadora de simbra							■						■																■		
	43	Revisión de ejes	Todas las máquinas																													■		
	44	Engrase de caja de velocidades	Troqueladora mecánica																													■		
	45	Cambio de accesorios neumáticos	Cortadora de simbra																													■		
	46	Cambio de accesorios hidráulicos	Troqueladora hidráulica																													■		
	47	Calibración de temperatura	Túnel termo encogedor								■						■							■								■		
	48	Control de muelles y cadenas	Todas las máquinas																													■		
	49	Engrase general	Todas las máquinas								■						■							■								■		
	50	Cambio de accesorios defectuosos	Todas las máquinas																														■	
	51	Control de Fugas	Troqueladora hidráulica																														■	
	52	Control de instalaciones de aire	Cortadora de simbra																														■	
	53	Sellado de fugas	Troqueladora hidráulica																														■	
	54	Verificación de válvulas	Cortadora de simbra								■						■							■									■	
	55	Revisión de lubricación en guías	Troqueladora hidráulica																														■	
	56	Control de niquelinas	Túnel termo encogedor																														■	

Máquinas	N°	Actividades	Máquina	Septiembre																															
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
	57	Reemplazo de engranajes en mal estado	troqueladora mecánica																																
	58	Cambio de accesorios neumáticos	Todas las máquinas																																
	59	Limpieza de cajas de transmisión	Troqueladora mecánica																																

**Tabla 40:** Gama de mantenimiento Octubre.

Máquinas	N°	Actividades	Máquina	Octubre																													
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Prensa Troqueladora Hidráulica, Prensa Troqueladora hidráulica, Tínel termo encogedor, Cortadora de simbra, Selladora de alta frecuencia	1	Limpieza General de las máquinas	Todas las máquinas																														
	2	Limpieza de mesas y zonas de trabajo	Todas las máquinas																														
	3	limpieza de matrices	Troqueladoras mecánicas e hidráulicas																														
	4	Remoción de residuos	Todas las máquinas																														
	5	Limpieza de guías	Troqueladoras mecánicas e hidráulicas																														
	6	Revisión general del sistema hidráulico	Troqueladora hidráulica																														
	7	Limpieza general de la máquina	Todas las máquinas																														
	8	Desengrase de la mesa de trabajo	Troqueladoras mecánicas e hidráulicas																														
	9	Lubricación de la mesa de trabajo	Troqueladora hidráulica																														

Máquinas	N°	Actividades	Máquina	Octubre																																													
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31																
Prensa Troqueladora Hidráulica, Prensa Troqueladora hidráulica, Túnel termo encogedor, Cortadora de simbra, Selladora de alta frecuencia	10	Verificación de elementos de sujeción	Todas las máquinas																																														
	11	Lubricación de guías de la mesa	Troqueladoras mecánicas e hidráulicas																																														
	12	Cambio de rodamientos	Todas las máquinas																																														
	13	Verificación de sistemas de accionamiento	Todas las máquinas																																														
	14	Lubricación de engranajes	Todas las máquinas																																														
	15	Lubricación de volante de inercia	Troqueladora hidráulica																																														
	16	Cambio de engranajes defectuosos	Todas las máquinas																																														
	17	Limpieza general de la máquina	Todas las máquinas																																														
	18	Desengrase de la mesa de trabajo	Troqueladora mecánica																																														
	19	Lubricación de la mesa de trabajo	Troqueladoras mecánicas e hidráulicas																																														
20	Ajuste de pernos y tuercas	Todas las máquinas																																															







Máquinas	N°	Actividades	Máquina	Octubre																														
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Prensa Troqueladora Hidráulica, Prensa Troqueladora hidráulica, Túnel termo encogedor, Cortadora de simbra, Selladora de alta frecuencia	52	Control de instalaciones de aire	Cortadora de simbra																															
	53	Sellado de fugas	Troqueladora hidráulica																															
	54	Verificación de válvulas	Todas las máquinas																															
	55	Cambio de componentes defectuosos	Todas las máquinas																															
	56	Limpieza general de la máquina	Todas las máquinas																															
	57	Cambio de conectores neumáticos defectuosos	Cortadora de simbra																															
	58	Lubricación de componentes	Todas las máquinas																															
	59	Mantenimiento de la placa porta electrodos	Túnel termo encogedor																															

**Tabla 41:** Gama de mantenimiento Noviembre

Máquinas	N°	Actividades	Máquina	Noviembre																														
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Prensa Troqueladora Hidráulica, Prensa Troqueladora hidráulica, Túnel termo encogedor, Cortadora de simbra, Selladora de alta frecuencia	1	Ajuste de nivel de la máquina	Todas las máquinas																															
	2	Limpieza de componentes de la máquina	Todas las máquinas																															
	3	Verificación de elementos de ajuste	Todas las máquinas																															
	4	Control de parámetros de lubricación	Todas las máquinas																															
	5	Lubricación de mesa de trabajo	Troqueladoras mecánicas e hidráulicas																															
	6	Ajuste de elementos de sujeción flojos	Todas las máquinas																															
	7	Revisión de mangueras y cañerías del sistema oleo hidráulico	Troqueladora hidráulica																															
	8	Revisión de accesorios del sistema oleo hidráulico	Troqueladora hidráulica																															











**Tabla 42:** Gama de mantenimiento Diciembre.

Máquinas	N°	Actividades	Máquina	Diciembre																														
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Prensa Troqueladora Hidráulica, Prensa Troqueladora hidráulica, Túnel termo encogedor, Cortadora de simbra, Selladora de alta frecuencia	1	Ajuste de nivel de la máquina	Todas las máquinas																															
	2	Limpieza de componentes de la máquina	Todas las máquinas																															
	3	Verificación de elementos de ajuste	Todas las máquinas																															
	4	Control de parámetros de lubricación	Todas las máquinas																															
	5	Lubricación de mesa de trabajo	Troqueladoras mecánicas e hidráulicas																															
	6	Revisión de excentricidad del mecanismo principal	Troqueladora mecánica																															
	7	Verificación de control de operación	Todas las máquinas																															
	8	Verificación del sistema de seguridad	Todas las máquinas																															
	9	Revisión guías	Troqueladoras mecánicas e hidráulicas																															











Máquinas	N°	Actividades	Máquina	Diciembre																														
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
	59	Cambio de electroválvulas defectuosas	Cortadora de simbra																															

Se utilizaron los criterios dispuestos en la norma SAE JA1011, sobre la metodología RCM lo cual permitió elaborar todas las gamas de mantenimiento para las máquinas de la sección de troquelado, en respuesta a las preguntas que se plantean para obtener actividades programadas de manera adecuada con el fin de prevenir el desgaste de la maquinaria juntamente con actividades fiables en la ejecución del mantenimiento.

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. Conclusiones.

- Se desarrollaron dossiers para cada una de las máquinas que se encuentran en el área de troquelado con el cual se logró identificar y realizar un análisis minucioso de todos los componentes de cada máquina, que función cumple cada uno de ellos y conjuntamente con la observación de campo que se realizó a cada máquina también observamos el estado actual, se detalló todas las características que posee la maquinaria todo esto nos permitió llegar a como se debe ejecutar un buen uso y mantenimiento, así como los modos de fallo más comunes y sus efectos.
- Los modos de fallo de cada máquina fueron definidos por matrices AMFE empleando la NTP 679 mediante las cuales se calculó los números prioritarios de riesgo NPR que permiten identificar los más graves, teniendo en cuenta las causas, los efectos y la ocurrencia, mediante ello se puntualizó los diferentes criterios mediante una matriz de ponderación, con la cual se estimó la frecuencia y gravedad con las que suceden los fallos en los cuales encontramos los más críticos con los siguientes valores en la troqueladora hidráulica tenemos el motor de la bomba de aceite con un NPR = 126, mangueras hidráulicas NPR = 126, las válvulas NPR = 144, cilindros hidráulicos NPR = 162, Final de carrera y contacto NPR = 140, finalmente los botones de accionamiento NPR = 120, para el caso de la troqueladora mecánica tenemos en el motor para ser más específico en la bobina del motor con NPR = 120, para la termoselladora tenemos NPR = 120 el más crítico para motor, panel de control de temperatura NPR = 120, para la cortadora de simbra en el motor NPR = 120, en sistema de engranes NPR = 144.
- Se elaboró un estadístico con el mismo se pudo realizar el diagnóstico, la información del tiempo de operación de la maquinaria el tiempo de parada y los tiempos muertos fue registrada tomando en cuenta el servicio de cada máquina por día y los días operativos a la semana, no se consideraron los feriados por ende el tiempo máximo de operación fue de 40 horas todos estos parámetros nos permitieron la realización de la distribución de Weibull de

acuerdo a la NTP 331, esta nos ayuda a determinar los parámetros de mantenimiento preventivo para toda la maquinaria, con esto se determinó la fiabilidad de Weibull a través de dos métodos los cuales fueron el matemático y el gráfico cabe mencionar que los valores de cada método varían ya que en el uno se utiliza ecuaciones en el otro el papel de Weibull respectivamente con lo cual se determinó que la fiabilidad de las máquinas calculada por el método de Weibull esta entre el 60 y 99% esta disminuye conforme se incrementa el tiempo de operación de las máquinas dado que existe un mayor desgaste por operación..

- El enfoque de mantenimiento centrado en fiabilidad permitió definir las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo necesarias para garantizar el buen funcionamiento de los activos de la sección de troquelado de la empresa, corresponden a 2 por cada modo de fallo y se listan en las 12 gamas para el año calendario, mediante el análisis se determinó que algunas máquinas son más confiables que otras, especialmente las que tienen un tiempo de servicio menor, dado que el desgaste de los componentes y sistemas se incrementa según el tiempo que trabajan las máquinas.
- Se Elaboró un plan de mantenimiento basado en RCM (Mantenimiento Centrado en Fiabilidad) con actividades programadas en gamas mensuales para las máquinas de la sección de troquelado de la empresa Halley Corporación C.L, todo de acuerdo a la metodología que evalúa aspectos fundamentales como: ¿Cuál es la falla?, ¿Cuál es la falla funcional?, ¿Cuál es el modo de fallo?, ¿Cuál es el efecto de la falla?, ¿Qué consecuencia tendrá esta falla?, ¿Qué se hace para evitar la falla?, ¿Qué sucede si no se evita o minimiza la falla?, todo esto hace relación a lo anteriormente ya ejecutado mediante la utilización de la NTP 679 y 331 es decir lo que nos brinda la metodología RCM es que con la realización de las gamas mensuales establecer actividades de mantenimiento preventivas que facilita al personal necesario dentro de la empresa para poder ejecutar las actividades, cabe recalcar que para poder aplicar la metodología fue necesario el aporte del jefe de mantenimiento para obtener todos los datos necesarios para llegar a resultados óptimos.

## 4.2. Recomendaciones

- Para la elaboración del dossier de máquinas hay que recurrir a la información detalla por los fabricantes mediante planos, manuales y especificaciones que permiten detallar el funcionamiento de cada una de ellas.
- En el desarrollo de las matrices AMFE para detallar el criterio que define la gravedad es necesario revisar datos históricos que proporcionen un panorama claro de las causas y efectos del modo de fallo.
- Implementar un registro de tiempo de funcionamiento de cada una de las máquinas para definir de mejor manera la matriz de historial de fallas o actividades de mantenimiento.
- Adoptar revisiones sistemáticas de equipos enfocados en sistemas y subsistemas de cada uno de los determinados tipos de máquinas especialmente en casos donde sea necesario hacer más específicas las tareas de mantenimiento.
- Usar un software de gestión de mantenimiento industrial para optimizar las tareas y llevar de manera más ordenada y eficiente el mantenimiento preventivo en las diferentes máquinas de la empresa.
- Utilizar un mapeo de equipos y maquinarias, esto facilitaría la localización y gestión de los diferentes activos de la empresa esto contribuiría significativamente en las tareas de inspección tomando en cuenta que a menudo un solo individuo es el encargado de estas tareas.
- Respalidar periódicamente la información generada en varias fuentes tanto físicas como magnéticas de modo de que siempre esté disponible para su uso en la gestión del mantenimiento.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- [1] J. A. M. Velásquez, “Aplicación de RCM como estrategia de implementación del mantenimiento predictivo para la metodología TPM,” p. 97, 2018.
- [2] J. A. M. Velásquez, “Aplicación de RCM como estrategia de implementación del mantenimiento predictivo para la metodología TPM,” p. 97, 2018.
- [3] J. Diestra, L. Esquivel, and R. Guevara, “Programa De Mantenimiento Centrado En La Confiabilidad (Rcm), Para Optimizar La Disponibilidad Operacional De La Máquina Con Mayor Criticidad Maintenance Program Focused on Reliability (Rcm), To Optimize the Operational Availability of the Machine With Gr,” vol. 4, no. 1, pp. 2313–1926, 2017.
- [4] F. J. C. Carrasco, “Characteristics of the Systems Tpm and Rcm in the Maintenance Engineering,” *3C Tecnología*, vol. 55, no. Edición 19, pp. 68–75, 2016.
- [5] F. J. C. Carrasco, “Characteristics of the Systems Tpm and Rcm in the Maintenance Engineering,” *3C Tecnología*, vol. 55, no. Edición 19, pp. 68–75, 2016.
- [6] E. Ordoñez, M. Rodriguez, and A. Velasco, “Condición actual de la gestión de mantenimiento del sector industrial plástico en El Salvador (Octubre 2017),” no. Octubre, pp. 1–9, 2017.
- [7] E. Ordoñez, M. Rodriguez, and A. Velasco, “Condición actual de la gestión de mantenimiento del sector industrial plástico en El Salvador (Octubre 2017),” no. Octubre, pp. 1–9, 2017.
- [8] Asociación española para la calidad, “Mantenimiento,” 2020. <https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/mantenimiento> (accessed Jan. 14, 2022).
- [9] Renovetec, “Tipos de Mantenimiento,” 2019. <http://www.renovetec.com/590-mantenimiento-industrial/110-mantenimiento-industrial/305-tipos-de-mantenimiento> (accessed Jan. 14, 2022).

- [10] IRIM, “¿Qué es un plan de mantenimiento?,” 2018. <http://www.renovetec.com/irim/sobre-mantenimiento/planes-de-mantenimiento/que-es-un-plan-de-mantenimiento> (accessed Jan. 14, 2022).
- [11] M. L. Singgih, Y. Prasetyawan, Sutikno, D. Hartanto, F. R. Kurniawan, and W. T. Wicaksana, “Maintenance management improvement based on reliability centered maintenance II in energy generating industries,” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 528, no. 1, pp. 0–7, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/528/1/012054.
- [12] M. Alrifaey, T. S. Hong, A. As’array, E. E. Supeni, and C. K. Ang, “Optimization and selection of maintenance policies in an electrical gas turbine generator based on the hybrid reliability-centered maintenance (RCM) model,” *Processes*, vol. 8, no. 6, 2020, doi: 10.3390/PR8060670.
- [13] M. Alrifaey, T. S. Hong, A. As’array, E. E. Supeni, and C. K. Ang, “Optimization and selection of maintenance policies in an electrical gas turbine generator based on the hybrid reliability-centered maintenance (RCM) model,” *Processes*, vol. 8, no. 6, 2020, doi: 10.3390/PR8060670.
- [14] B. Yssaad, M. Khiat, and A. Chaker, “Reliability centered maintenance optimization for power distribution systems,” *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 55, pp. 108–115, 2014, doi: 10.1016/j.ijepes.2013.08.025.
- [15] O. Campos, G. Tolentino, M. Toledo, and R. Tolentino, “Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos,” 2019. <https://www.redalyc.org/journal/614/61458265006/html/> (accessed Jan. 14, 2022).
- [16] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, “NTP 679: Análisis modal de fallos y efectos. AMFE,” *Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales España*, 2004.
- [17] Cosmos, “Troqueladoras,” 2017. <https://troqueladoras.mx/> (accessed Jan. 14, 2022).

- [18] ISOTools, “¿Qué es la Matriz AMFE o análisis modal de fallos y efectos?” 2020. <https://www.isotools.org/2019/07/12/matriz-amfe-o-analisis-modal-de-fallos-y-efectos/> (accessed Jan. 14, 2022).
- [19] CMMS S.A., “¿Qué es el Número de prioridad del riesgo? - CMMS S.A.” <https://cmms.pe/que-es-el-numero-de-prioridad-del-riesgo-2/> (accessed Jan. 14, 2022).
- [20] Society of Automotive Engineers, “STD SAE JA 1011 Evaluation Criteria for Reliability - Centered Maintenance (RCM) Process,” 1999. <http://dl.mperia.ir/e-books/25-%5BSAE%5DSAE-JA1011-RCM%5Bmperia.ir%5D.pdf> (accessed Jan. 14, 2022).
- [21] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, “NTP 331 Fiabilidad: la distribución de Weibull,” 1994. [https://www.insst.es/documents/94886/326853/ntp\\_331.pdf/cdc3ba1d-ec18-4d9f-8e36-3cfe970c8083?version=1.0&t=1614698484419](https://www.insst.es/documents/94886/326853/ntp_331.pdf/cdc3ba1d-ec18-4d9f-8e36-3cfe970c8083?version=1.0&t=1614698484419) (accessed Jan. 14, 2022).
- [22] Presidencia de la República del Ecuador, “Decreto Ejecutivo 2393: Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo,” 1986.

## **ANEXOS**

**Anexo 1.** NTP 679: Análisis modal de fallos y efectos. AMFE.

**Anexo 2.** NTP 331: Fiabilidad: la distribución de Weibull.

**Anexo 3.** Instructivo software de mantenimiento.

**Anexo 4.** Carta de aceptación del Proyecto Técnico.

**Anexo 1. NTP 679:  
Análisis modal de  
fallos y efectos.  
AMFE.**

## NTP 679: Análisis modal de fallos y efectos. AMFE

Analyse des modes de défauts et effets. AMDE

Failure Mode and Effect Analysis. FMEA

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

### Redactores:

Manuel Bestratén Belloví  
*Ingeniero Industrial*

Rosa M<sup>a</sup> 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 aeronáutica 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, entendiéndose 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 efectos potenciales, si se aplica de manera sistemática.

La aplicación del AMFE por los grupos de trabajo implicados en las instalaciones o procesos productivos de los que son en parte conductores o en parte usuarios en sus diferentes aspectos, aporta un mayor conocimiento de los mismos y sobre todo de sus aspectos más débiles, con las consiguientes medidas preventivas a aplicar para su necesario control. Con ello se está facilitando la integración de la cultura preventiva en la empresa, descubriéndose que mediante el trabajo en equipo es posible profundizar de manera ágil en el conocimiento y mejoramiento 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 receptionan 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 previsible con su detectabilidad (facilidad de detección), su frecuencia y gravedad o severidad, y que a continuación se definen.

## Detectabilidad

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

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

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

## Frecuencia

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

## Gravedad

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

## Índice de Prioridad de Riesgo (IPR)

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

$$IPR = D.G.F$$

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

## 3. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

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

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

### Denominación del componente e identificación

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

### Parte del componente. Operación o función

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

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

### Fallo o Modo de fallo

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

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

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

### Efecto/s del fallo

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

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

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

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

### Índice de Prioridad de Riesgo (IPR)

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

### Acción correctora

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

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

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

fallo debería ser el factor determinante del índice de prioridad del riesgo. O sea, si se llegara 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. Complimentar el formulario del AMFE, asegurando la fiabilidad de datos y respuestas por consenso.
9. Reflexionar sobre los resultados obtenidos y emitir conclusiones sobre las intervenciones de mejora requeridas.
10. Planificar las correspondientes acciones de mejora.

TABLA 5. Ejemplo de formulario de AMFE cumplimentado parcialmente para el análisis de operaciones de soldadura y marcado del proceso de prensas y chapistería

ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (A.M.F.E.)															
AMFE DE PROYECTO <input type="checkbox"/>		AMFE DE PROCESO <input type="checkbox"/>		DENOMINACIÓN DEL COMPONENTE / PARTE DEL PROCESO				CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN 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 Nº	FALLOS POTENCIALES			CAUSAS DEL MODO DE FALLO	MEDIDAS DE ENSAYO Y CONTROL PREVISTAS	ESTADO ACTUAL			ACCIÓN CORRECTORA	RESPONSABLE / PLAZO	SITUACIÓN DE MEJORA			
		MODOS DE FALLO	EFFECTOS	EFFECTOS			F	G	D			IPR	F	G	D
Soldadura MIG	1.1	Falta soldadura	Retrabajos, ruidos, falta de rigidez	Defectos de acoplamiento	Ninguna	8	8	2	128	Previstos grupos y aprietes en zona MIG	Proceso Chapa / Anteproyecto				
	1.2			Pestañas fuera de geometría	Ninguna	8	8	2	128	Pestañas bien diseñadas para garantizar geometría	Proyectos / Anteproyecto				
	1.3	Soldadura defectuosa	Agujeros en chapa	Desacoplamiento chapas	Ninguna	8	8	2	128	Garantizar geometrías y acoplamientos	Proceso Chapa / Anteproyecto				
	1.4	Mala calidad de soldadura	Retrabajos, ruidos, grietas	Parámetros de soldadura incorrectos	Ninguna	2	9	8	144	Acceso restringido a los parámetros de máquina. Control periódico de los mismos.	Proceso Chapa / Anteproyecto				
	1.5	Proyecciones suciedad poros	Óxido, suciedad en bajos en pinturas	Falta de gas. Malos parámetros	Ninguna	6	8	7	336	Incorporar medios en la estación para eliminar suciedad.	Proceso Chapa / Anteproyecto				
	1.6	Deslumbramiento	Problemas de visión de los operarios	Ausencia de vallas oscuras	Ninguna	10	8	2	160	Colocar pantallas de protección en zonas de soldadura MIG	Proceso Chapa / Anteproyecto				
	1.7			Ausencia de puertas oscuras	Ninguna	10	8	2	160	Colocar puertas de protección para no deslumbrar	Proceso Chapa / Anteproyecto				
	1.8	Exceso de humos	Exposición a agentes químicos	Campanas de humos ubicadas muy alejadas de la zona de emanación del humo.	Ninguna	6	8	4	192	Colocar campanas de aspiración justo al lado de la fuente del humo.	Proceso Chapa / Anteproyecto				
	1.9	Exceso de fuego	Proyecciones	No hay protección	Ninguna	6	5	6	180	Caja de latón que protege chapa y la máquina, todo ello en sus partes vistas.	Proceso Chapa / Anteproyecto				

TABLA 5. Continuación

<b>ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (A.M.F.E.)</b>															
OPERACIÓN O FUNCIÓN	FALLO N°	MODO DE FALLO	EFECTOS	CAUSAS DEL MODO DE FALLO	ESTADO ACTUAL					ACCIÓN CORRECTORA	RESPONSABLE / PLAZO	SITUACIÓN DE MEJORA			
					MEDIDAS DE ENSAYO Y CONTROL PREVISTAS	F	G	D	IPR			ACCIONES IMPLANTADAS	F	G	D
AMFE DE PROYECTO <input type="checkbox"/>		AMFE DE PROCESO <input type="checkbox"/>		DENOMINACIÓN DEL COMPONENTE / PARTE DEL PROCESO								Hoja:			
NOMBRE Y DPTO. DE LOS PARTICIPANTES Y/O PROVEEDOR:		COORDINADOR: (Nombre / Dpto.)								FECHA INICIO: FECHA REVISIÓN:					
Estaciones de geometría y soldadura en general	2.1	Dificultad de controlar puntos de soldadura ocultos	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	Útil permite varias posiciones	Ninguna	10	10	5	500	Pokayoke utililaje para encontrar solución	Proceso Chapa / Anteproyecto				
	3.1	El marcador no marca	Identificación y reclamación dificultosa, rechazos	Mal funcionamiento del marcador, rotura, falta de energía	Control visual y penalización en auditoría intermedia	10	6	1	60	Debe integrarse el marcador como un elemento automático más de la instalación	Proceso Chapa / Anteproyecto				
	3.2	Marcaje deficiente	Identificación y reclamación dificultosa, rechazos	Incorrecta orientación respecto a la pieza	Control visual y penalización en auditoría intermedia	6	6	1	36	Debe integrarse el marcador como un elemento automático más de la instalación	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.*

**Anexo 2. NTP 331:  
Fiabilidad: la  
distribución de  
Weibull.**

## NTP 331. Fiabilidad: la distribución de Weibull

Fiabilité: la distribution 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<sup>a</sup> Tamborero del Pino  
Ingeniero Industrial

CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES DE TRABAJO

### Objetivo

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

### Introducción

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

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

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

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

### Características generales

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

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

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

siendo:

$\lambda(t)$  - Tasa de fallos

$R(t)$  - Fiabilidad

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

$t$  - Tiempo

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

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

por lo que la fiabilidad será:

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

siendo :

$t_0$  - parámetro inicial de localización

$\eta$  - parámetro de escala o vida característica

$\beta$  - parámetro de forma

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

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

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

siendo la función densidad de probabilidad:

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

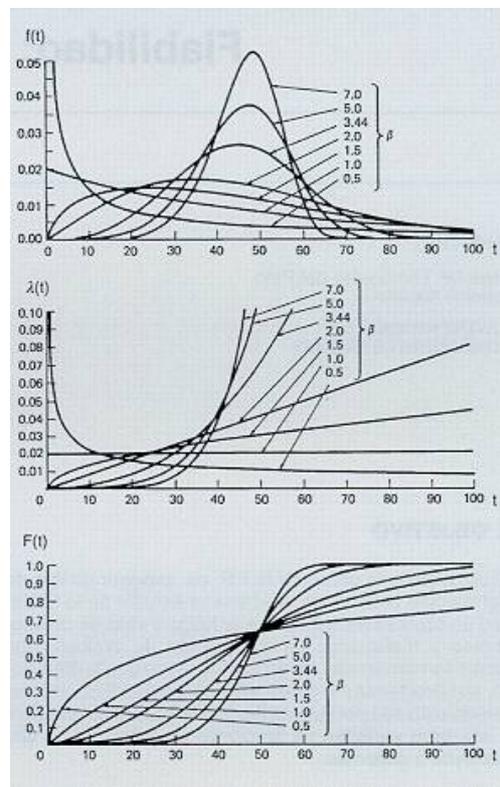
La tasa de fallos para esta distribución es:

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

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

- $t_0$  es el parámetro de posición (unidad de tiempos) o vida mínima y define el punto de partida u origen de la distribución.
- $\eta$  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  $\beta$  ya que como hemos visto su valor no influye en los cálculos realizados. Por esta razón también se le llama usualmente vida característica.
- $\beta$  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  $\beta$ , 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  $\beta$**

Representación de los modos de fallo mediante la distribución de weibull

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

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

## Análisis de Weibull

Uno de los problemas fundamentales de la distribución de Weibull es la evaluación de los parámetros ( $t_0$ ,  $\eta$ ,  $\beta$ ) 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  $t_0$

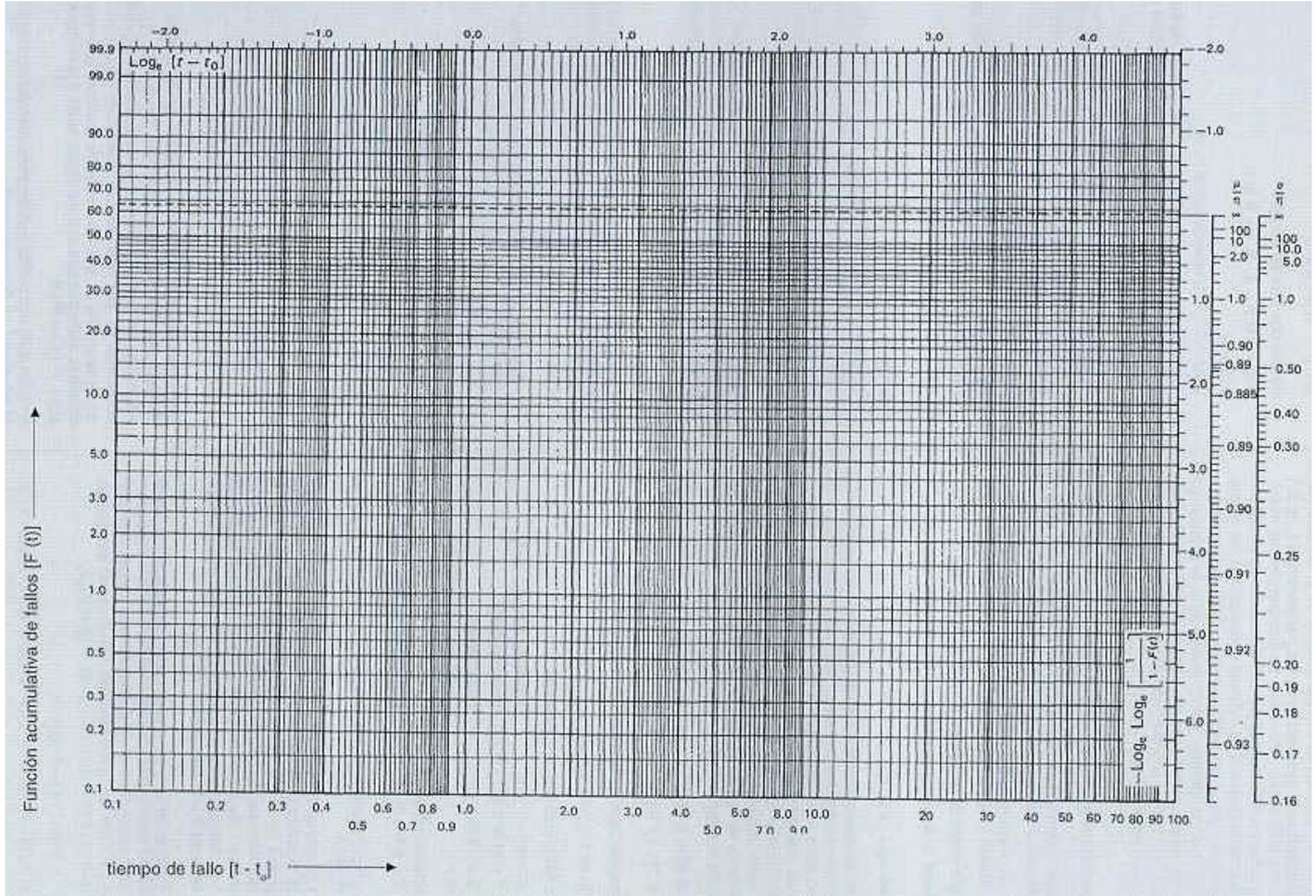
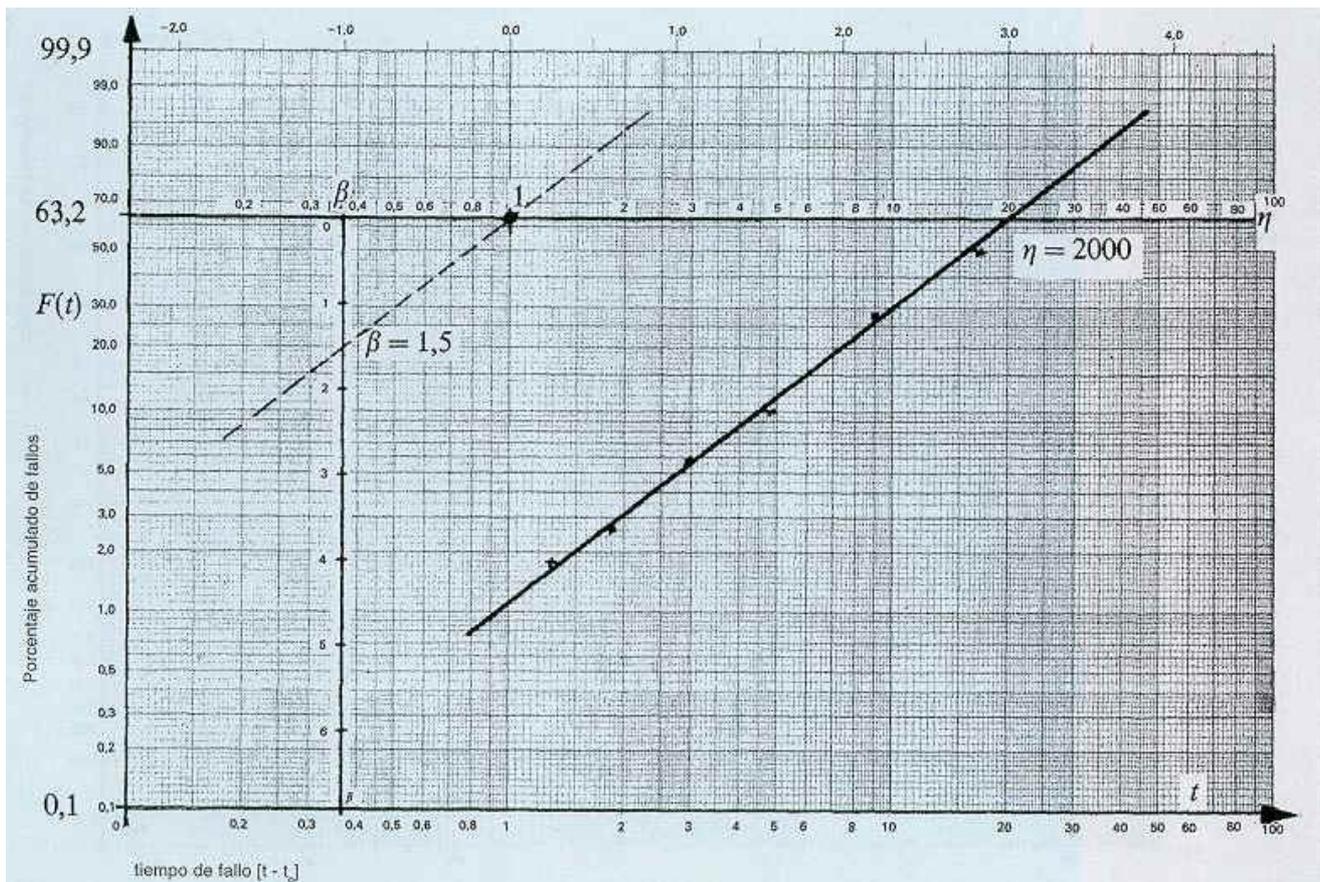


Fig. 2: Muestra del papel de Weibull



**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  $\beta$  y  $\eta$  se utiliza el papel de Weibull.

- Cálculo de  $\beta$ :  $\beta$  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  $\beta$  en una escala tabulada de 0 a 7. Ver gráfico en fig. 3.
- Cálculo de  $\eta$ :  $\eta$  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  $t = \eta$ .

$\eta$  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  $\sigma$ : 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:

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

$$MTBF = m = E(t) = \eta \Gamma \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right)$$

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

$\beta$	$m/\eta = \Gamma(1+1/\beta)$	$\sigma/\eta$	$\beta$	$m/\eta = \Gamma(1+1/\beta)$	$\sigma/\eta$
0	$\infty$	$\infty$	2,0	0,8862	0,463
0,1	10!	$\sqrt{20! - (10!)^2}$	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	0,6649	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:

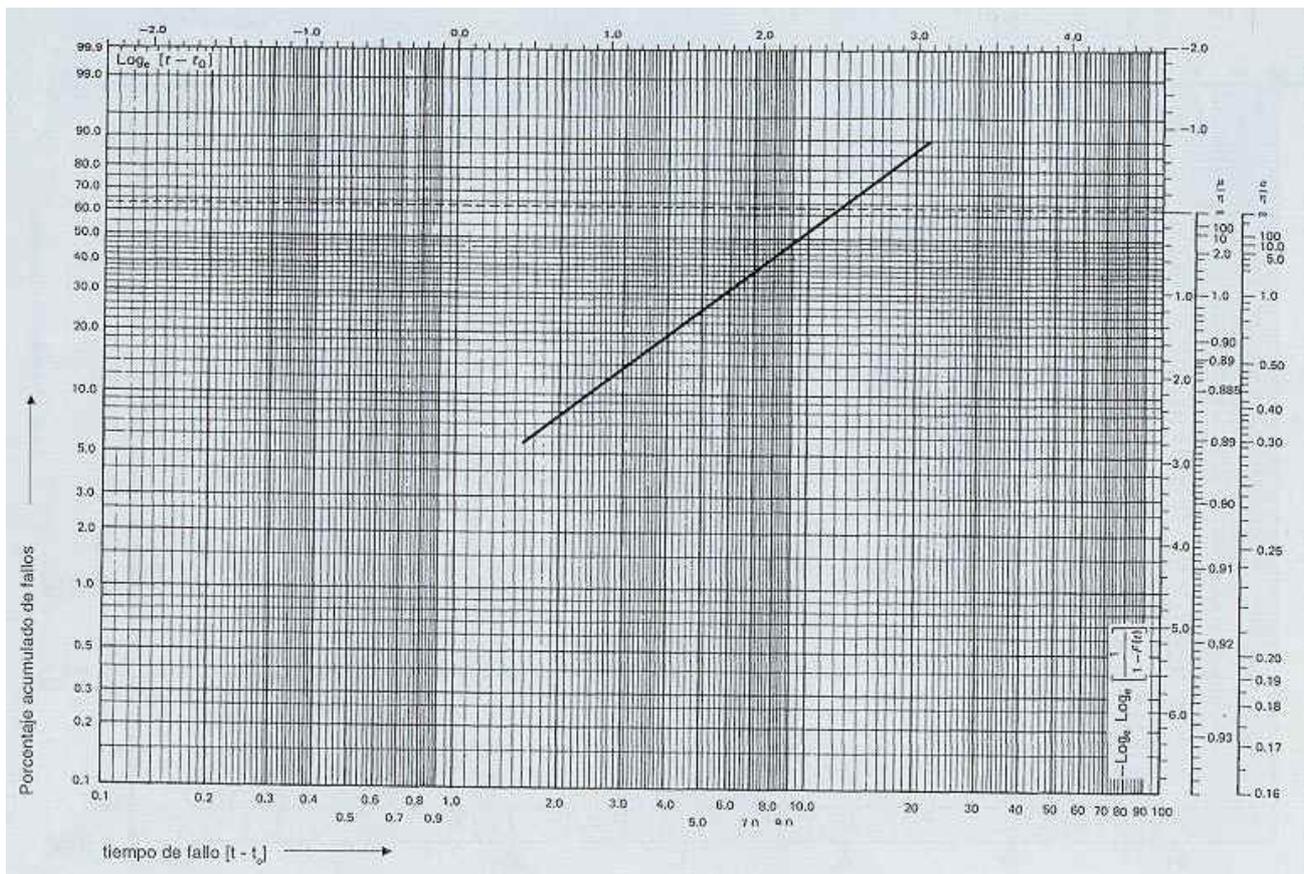
Tiempo de fallo	Valores medios clasificados [ F (t) ]
1,7	0,0670
3,5	0,0163
5	0,2594
6	0,3557
8	0,4519
9	0,5481
11	0,6443
13	0,7406
18	0,8368
22	0,9330

**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	0,0943	0,0830	0,0741	0,0670	0,0611	0,0561	0,519	0,0483	0,0452	1
2		0,7071	0,5000	0,3864	0,3147	0,2655	0,2295	0,2021	0,1806	0,1632	0,1489	0,1368	0,1266	0,1178	0,1101	2
3			0,7937	0,6136	0,5000	0,4218	0,3648	0,3213	0,2871	0,2594	0,2366	0,2175	0,2013	0,1873	0,1751	3
4				0,8409	0,6853	0,5782	0,5000	0,4404	0,3935	0,3557	0,3244	0,2982	0,2760	0,2568	0,2401	4
5					0,8706	0,7345	0,6352	0,5596	0,5000	0,4519	0,4122	0,3789	0,3506	0,3263	0,3051	5
6						0,8909	0,7705	0,6787	0,6065	0,5481	0,5000	0,4596	0,4253	0,3958	0,3700	6
7							0,9057	0,7979	0,7129	0,6443	0,5878	0,5404	0,5000	0,4653	0,4350	7
8								0,9170	0,8194	0,7406	0,6756	0,6211	0,5747	0,5347	0,5000	8
9									0,9259	0,8368	0,7634	0,7018	0,6494	0,6042	0,5650	9
10										0,9330	0,8511	0,7825	0,7240	0,6737	0,6300	10
11											0,9389	0,8632	0,7987	0,7432	0,6949	11
12												0,9439	0,8743	0,8127	0,7599	12
13													0,9481	0,8822	0,8249	13
14														0,9517	0,8899	14
15															0,9548	15

	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
1	0,0424	0,0400	0,0378	0,0358	0,0341	0,0330	0,0315	0,0301	0,0288	0,0277	0,0266	0,0256	0,0247	0,0239	0,0231	1
2	0,1034	0,09775	0,0922	0,0874	0,0831	0,0797	0,0761	0,0728	0,0698	0,0670	0,0645	0,0621	0,0599	0,0579	0,0559	2
3	0,1644	0,1550	0,1465	0,1390	0,1322	0,1264	0,1207	0,1155	0,1108	0,1064	0,1023	0,0986	0,0951	0,0919	0,0888	3
4	0,2234	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	0,4053	0,3905	0,3767	0,3639	0,3519	11
12	0,7135	0,6725	0,6359	0,6032	0,5736	0,5466	0,5223	0,5000	0,4795	0,4606	0,4431	0,4270	0,4119	0,3979	0,3848	12
13	0,7746	0,7300	0,6903	0,6547	0,6226	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	0,6115	0,5854	0,5614	0,5393	0,5189	0,5000	0,4823	0,4659	0,4506	14
15	0,8966	0,8450	0,7991	0,7579	0,7207	0,6867	0,6561	0,6281	0,6024	0,5787	0,5568	0,5364	0,5176	0,5000	0,4835	15
16	0,9576	0,9025	0,8535	0,8095	0,7698	0,7334	0,7007	0,6708	0,6433	0,6180	0,5946	0,5729	0,5528	0,5340	0,5164	16
17		0,9600	0,9078	0,8610	0,8188	0,7801	0,7454	0,7135	0,6843	0,6574	0,6325	0,6094	0,5880	0,5680	0,5493	17
18			0,9622	0,9126	0,8678	0,8268	0,7900	0,7562	0,7253	0,6967	0,6704	0,6459	0,6232	0,6020	0,5822	18
19				0,9642	0,9169	0,8735	0,8346	0,7990	0,7662	0,7361	0,7082	0,6824	0,6584	0,6360	0,6151	19
20					0,9659	0,9202	0,8792	0,8417	0,8072	0,7754	0,7461	0,7189	0,6936	0,6700	0,6480	20
21						0,9669	0,9238	0,8844	0,8482	0,8148	0,7840	0,7554	0,7288	0,7040	0,6808	21
22							0,9684	0,9271	0,8891	0,8542	0,8218	0,7918	0,7640	0,7380	0,7137	22
23								0,9698	0,9301	0,8935	0,8597	0,8283	0,7992	0,7720	0,7466	23
24									0,9711	0,9329	0,8976	0,8648	0,8344	0,8060	0,7795	24
25										0,9722	0,9354	0,9013	0,8696	0,8400	0,8124	25
26											0,9733	0,9378	0,9048	0,8740	0,8453	26
27												0,9743	0,9400	0,9080	0,8782	27
28													0,9752	0,9420	0,9111	28
29														0,9760	0,9440	29
30															0,9768	30

La representación de estos puntos en el gráfico de Weibull nos clá prácticamente una recta (fig. 4). La pendiente de esta recta es 1,5 valor que corresponde al parámetro  $\beta$ ; por otro lado se puede ver gráficamente que  $\eta$  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  $\beta$  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:

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

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 :

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

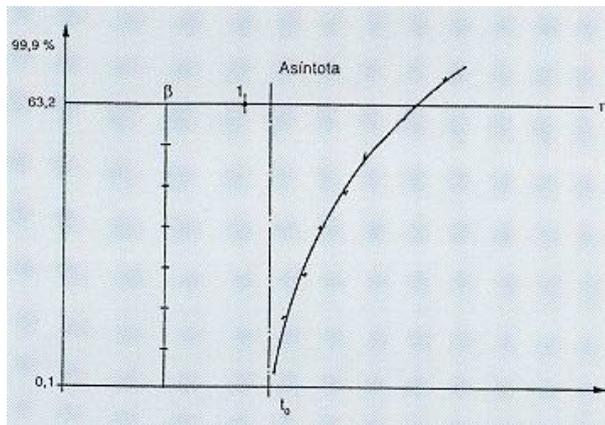
para  $\beta = 1,5$  y según las tablas nos da el valor de  $\sigma/\eta = 0,613$  que como  $\eta = 12$  tenemos que:  $\sigma = 12 \cdot 0,613 = 7,356$  meses.

### Caso de $t_0 > 0$

Para este caso los datos no se alinean adoptando la forma indicada en 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 abcisa 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:

$$t' = t - t_0$$

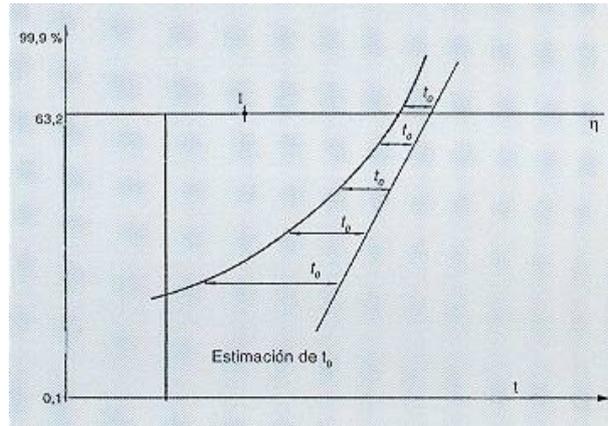
$t'$  = nuevo tiempo

$t$  = 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.

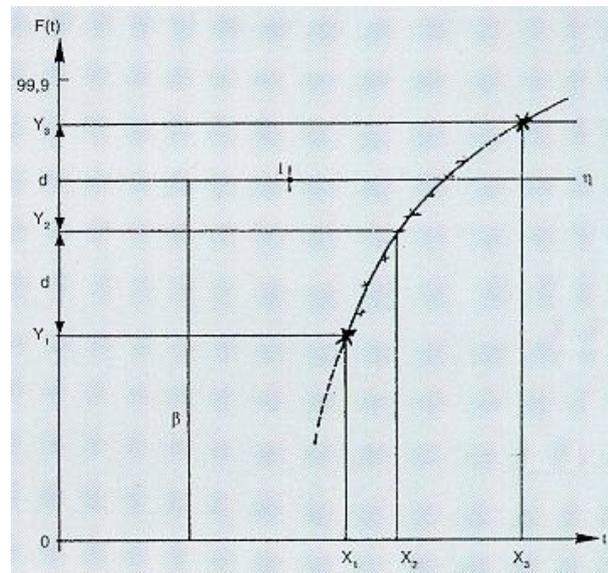


**Fig. 6: Representación gráfica para el caso de  $t_0 > 0$**

### 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:

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

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

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)

# **Anexo 3. Instructivo software de mantenimiento.**

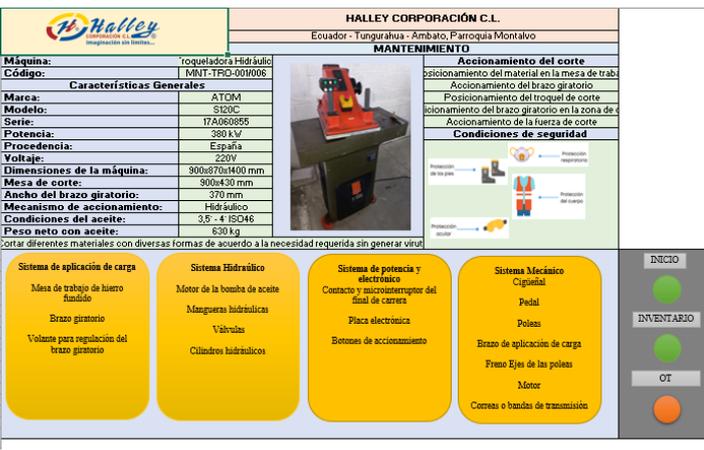
1. Iniciamos abriendo la interfaz principal del software, en donde nos encontramos con la sección de troquelado, aquí mismo nos indica dos opciones a las cuales podemos acceder las cuales son las máquinas que se encuentran en la sección y también a la generación de la orden de trabajo.



2. Accedemos a máquina y podemos observar las máquinas que podemos encontrar en la sección de troquelado, al lado derecho encontramos dos botones en donde cada uno nos indica a donde nos direcciona.



3. Al dar un click en la interfaz anterior en cualquiera de las máquinas, nos lleva a otra ventana como la que podemos observar en la imagen ahí podemos observar las especificaciones técnicas de cada máquina la guía de accionamiento y las condiciones de seguridad, en la parte inferior se observa los sistemas con sus respectivos elementos y finalmente en la derecha encontramos tres botones que nos llevan al inicio al inventario o para poder genera la orden de trabajo OT.





Instructivo de Funcionamiento Software

4. Después de haber revisado la información de las maquinas podemos acceder a la orden de trabajo en donde nos indicara el formato que se generara al final de llenar todos los datos, para llegar acá podemos hacer click en cualquier botón que indique OT. Para poder llenar los datos debemos hacer click en el botón de la derecha que muestra datos.

		HALLEY CORPORACIÓN C.L. Ecuador - Tungurahua - Ambato, Parroquia Montalvo ÁREA DE MANTENIMIENTO	Código: MNT-OT-0122 Versión: 1.0 Orden N°: OT-007
--	--	--	---

ORDEN DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO

Tipo de Mantenimiento	Máquina/Equipo
PREVENTIVO	MNT-TRO-005

Mantenimiento:	INTERNO
Área de mantenimiento:	MECÁNICO
Asignado a:	TNLGO. ISRAEL CHUQUITARCO AUXILIAR MECÁNICO

● INICIO  
● DATOS  
● INVENTARIO

		HALLEY CORPORACIÓN C.L. Ecuador - Tungurahua - Ambato, Parroquia Montalvo ÁREA DE MANTENIMIENTO	Código: MNT-OT-0122 Versión: 1.0 Orden N°:
--	--	--	--

INSTRUCTIVO DE LLENADO

Número	Descripción
1	Anotar número de control de la orden de trabajo asignado por el Jefe del Departamento de Mantenimiento.
2	Seleccionar el tipo de mantenimiento, Preventivo y si fuera el caso correctivo
3	Seleccionar la máquina o equipo en la cual se va a realizar el trabajo de mantenimiento
4	Seleccionar que el tipo que corresponda para el mantenimiento interno o externo, según el tipo de servicio que trate.
5	Anotar la clase de mantenimiento que se va a efectuar, puede ser eléctrico, mecánico, hidráulico, neumático, electrónico, pintura, plomería, herrería.
6	Anotar el nombre del responsable que va a ejecutar el trabajo.
7	Anotar la fecha en la que se realizó el mantenimiento.

Orden N°:	OT-007
Tipo de mantenimiento:	PREVENTIVO
Máquina:	MNT-TRO-005
Mantenimiento:	INTERNO
Área de mantenimiento:	MECÁNICO
Responsable:	TNLGO. ISRAEL CHUQUITARCO AUXILIAR MECÁNICO
Fecha:	29/4/2022
Liberación OT:	TNLGO. NESTOR CASTRO JEFE DE MANTENIMIENTO
Aprobación:	TNLGO. NESTOR CASTRO JEFE DE MANTENIMIENTO

ACTIVIDAD										
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">           Limpieza General de las máquinas Limpieza de bandas transportadoras Lubricación de rodamientos lineales Verificación de cableado en mal estado Verificación de elementos de sujeción         </div>	<table border="1"> <tr> <td>ENERO</td> <td>FEBRERO</td> <td>MARZO</td> </tr> <tr> <td>MAYO</td> <td>JUNIO</td> <td>JULIO</td> </tr> <tr> <td>SEPTIEMBRE</td> <td>OCTUBRE</td> <td>NOVIEMBRE</td> </tr> </table>	ENERO	FEBRERO	MARZO	MAYO	JUNIO	JULIO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE
ENERO	FEBRERO	MARZO								
MAYO	JUNIO	JULIO								
SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE								

5. Al acceder a datos podemos observar que al lado izquierdo tenemos una hoja que dice instructivo de llenado, esa nos especifica que es cada uno de los ítems que se colocara en la orden de trabajo, en el lado derecho tenemos los datos que llenar la orden de trabajo mismos que ya están cargados solo para poder seleccionar, en la imagen de abajo podemos observar cómo es la interfaz de llenado.

Orden N°:	OT-007	<b>ACTIVIDAD</b>															
Tipo de mantenimiento:	PREVENTIVO	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">           Limpieza General de las máquinas Limpieza de bandas transportadoras Lubricación de rodamientos lineales Verificación de cableado en mal estado Verificación de elementos de sujeción         </div>															
Máquina:	MNT-TRO-005	<table border="1"> <tr> <td>ENERO</td> <td>FEBRERO</td> <td>MARZO</td> <td>ABRIL</td> </tr> <tr> <td>MAYO</td> <td>JUNIO</td> <td>JULIO</td> <td>AGOSTO</td> </tr> <tr> <td>SEPTIEMBRE</td> <td>OCTUBRE</td> <td>NOVIEMBRE</td> <td>DICIEMBRE</td> </tr> </table>				ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL														
MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO														
SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE														
Mantenimiento:	INTERNO	<table border="1"> <tr> <td>INICIO</td> <td>OT</td> <td>REGITRO ACTIVIDADES</td> </tr> </table>				INICIO	OT	REGITRO ACTIVIDADES									
INICIO	OT	REGITRO ACTIVIDADES															
Área de mantenimiento:	MECÁNICO																
Responsable:	TNLGO. ISRAEL CHUQUITARCO AUXILIAR MECÁNICO																
Fecha:	29/4/2022																
Liberación OT:	TNLGO. NESTOR CASTRO JEFE DE MANTENIMIENTO																
Aprobación:	TNLGO. NESTOR CASTRO JEFE DE MANTENIMIENTO																

### INSTRUCTIVO DE LLENADO

Número	Descripción
1	Anotar número de control de la orden de trabajo asignado por el Jefe del Departamento de Mantenimiento.
2	Seleccionar el tipo de mantenimiento, Preventivo y si fuera el caso correctivo
3	Seleccionar la máquina o equipo en la cual se va a realizar el trabajo de mantenimiento
4	Seleccionar que el tipo que corresponda para el mantenimiento interno o externo, según el tipo de servicio que trate.
5	Anotar la clase de mantenimiento que se va a efectuar, puede ser eléctrico, mecánico, hidráulico, neumático, electrónico, pintura, plomería, herrería.
6	Anotar el nombre del responsable que va a ejecutar el trabajo.
7	Anotar la fecha en la que se realizó el mantenimiento.
8	Anotar la actividad de mantenimiento que se va a ejecutar.
9	Anotar la descripción del trabajo ejecutado, herramientas utilizadas, repuestos si fuera necesario adjuntar información adicional.
10	Anotar el nombre del Jefe del Área que solicitó el trabajo, quien verifica, acepta y libera el servicio recibido. Firmado.
11	Anotar el nombre del Jefe del Departamento de Mantenimiento quien supervisa el trabajo liberado. Firmado.

6. De igual manera al costado izquierdo de donde se realiza el llenado de datos se encuentra la tabla que se encuentra en la parte superior, esta nos indica que es cada uno de los espacios que deben ser incluidos en la OT.

7. Como podemos ver todos los datos solicitados solo son de selección de la base que ya se encuentra cargada, todos los datos que vamos colocando.

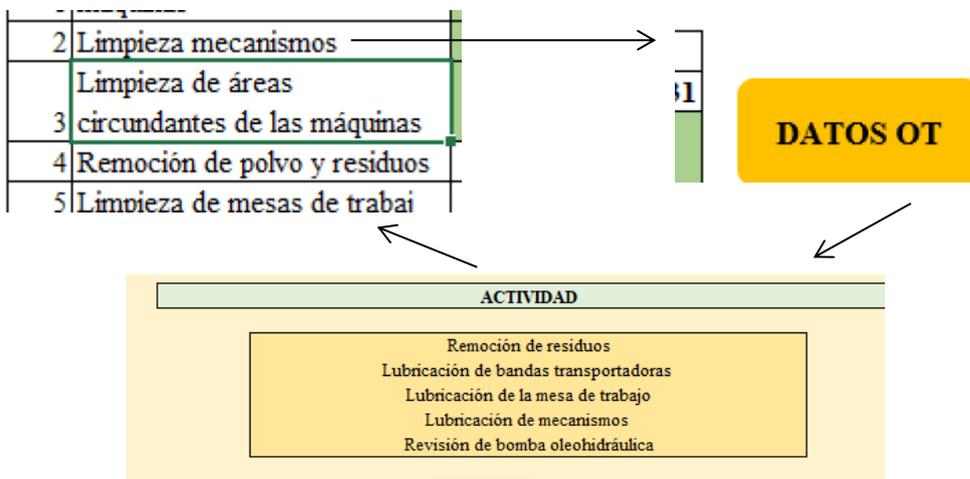
imaginación sin límites...

Orden N°:	OT-007
Tipo de mantenimiento:	PREVENTIVO
Máquina:	MNT-TRO-005
Mantenimiento:	INTERNO
Área de mantenimiento:	MECÁNICO
Responsable:	MECÁNICO ELECTRÓNICO NEUMÁTICO HIDRÁULICO VARIOS Otro

ACTIVIDAD

ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL
MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO
SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE

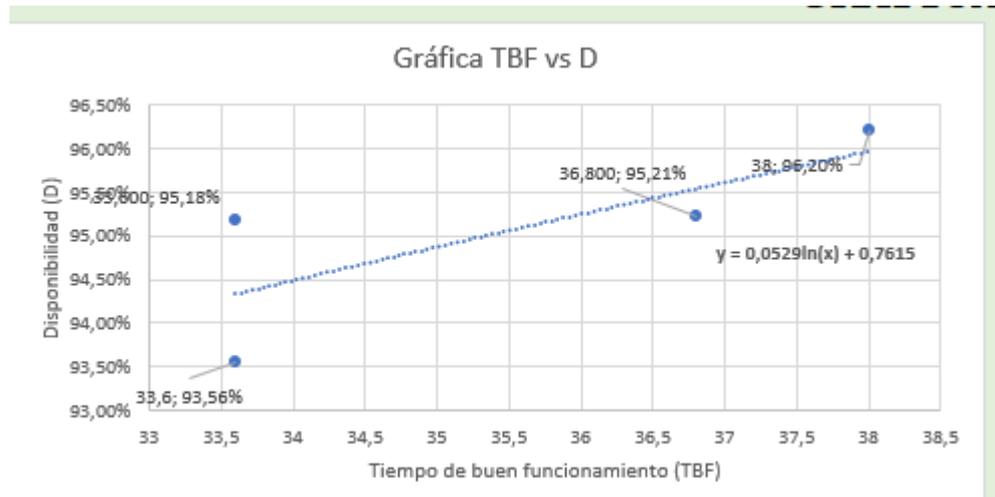
- En la parte superior podemos observar la parte en donde se colocan las actividades, para realizar el respectivo llenado se observa unos recuadros con todos los meses del año al dar un click ahí nos direcciona a las gamas mensuales de mantenimiento en donde nos indica todo lo que se debe realizar mensualmente, para poder colocar la actividad en la OT se lo debe realizar de la siguiente manera.
- Damos click en el mes, seleccionamos la actividad la copiamos damos click en el boton de datos OT nos direcciona a la celdas en donde se debe colocar podemos poner de 1 a 5 actividades por OT.



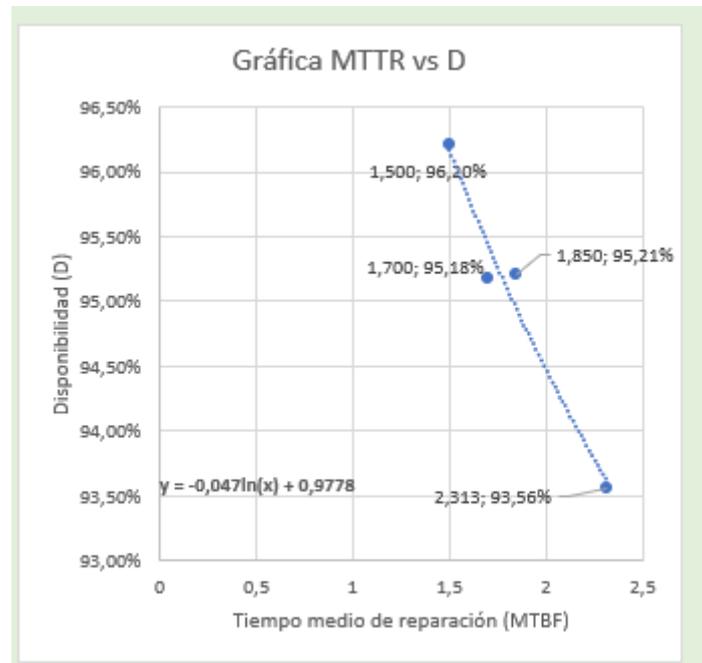


12. A medida que se va registrando los datos, se genera unas gráficas que nos indican datos del mantenimiento las cuales son:

13. Tenemos la de tiempo de buen funcionamiento (TBF) vs Disponibilidad (D), en esta se puede ir observando que a mayor tiempo de buen de funcionamiento la Disponibilidad viene a ser mayor.



14. También en el software visualizamos la gráfica de Tiempo medio de reparación (MTTR) vs Disponibilidad (D) en esta se puede observar el comportamiento de entre más daños haya en la máquina y mayor sea el tiempo que dure la reparación menor será la disponibilidad.





**HALLEY CORPORACIÓN C.L.**  
Ecuador - Tungurahua - Ambato, Parroquia  
Montalvo

<b>Código:</b>	MNT-OT-0122
<b>Versión:</b>	1.0
<b>Orden N°:</b>	OT-007

**ÁREA DE MANTENIMIENTO**

### ORDEN DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO

<b>Tipo de Mantenimiento</b>
PREVENTIVO

<b>Máquina/Equipo</b>
MNT-TRO-005

<b>Mantenimiento:</b>	INTERNO
<b>Área de mantenimiento:</b>	MECÁNICO
<b>Asignado a:</b>	TNLGO. ISRAEL CHUQUITARCO AUXILIAR MECÁNICO

<b>Fecha de realización:</b>	2/5/2022
<b>Actividad:</b>	Remoción de residuos
	Lubricación de bandas transportadoras
	Lubricación de la mesa de trabajo
	Lubricación de mecanismos
	Revisión de bomba oleohidráulica
<b>Descripción/Observación:</b>	

<b>Verificado/Liberado:</b>	----- TNLGO. NESTOR CASTRO JEFE DE MANTENIMIENTO
<b>Fecha:</b> 2/5/2022	
<b>Aprobado por:</b>	----- TNLGO. NESTOR CASTRO JEFE DE MANTENIMIENTO
<b>Fecha:</b> 2/5/2022	

**Anexo 4. Carta de  
aceptación del  
Proyecto Técnico.**

Ambato, 26 de Abril de 2022

Sr.

CHRISTOPHER VINICIO PUNGUIL HIDALGO

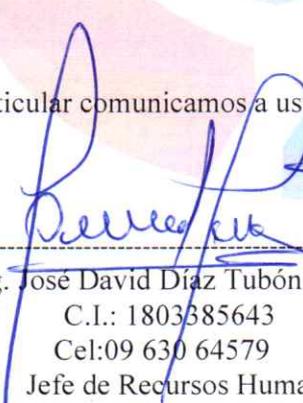
*Estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica*

**Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica**

**Universidad Técnica de Ambato**

Nosotros, José David Díaz Tubón en calidad de Jefe de Recursos Humanos y Néstor Javier Castro Arcos en calidad de Jefe de Mantenimiento de la Empresa HALLEY CORPORACIÓN C.L, ponemos en su conocimiento la aceptación y respaldo, para el proyecto de grado presentado con el tema: "DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM (MANTENIMIENTO CENTRADO EN FIABILIDAD) PARA LAS MÁQUINAS DE LA SECCIÓN DE TROQUELADO DE LA EMPRESA "HALLEY CORPORACIÓN C.L." determinando, que se ha cumplido con los objetivos que se han acordado mutuamente con anterioridad, por lo cual también se puede hacer publico los datos que se utilizaron en el desarrollo del proyecto.

Particular comunicamos a usted para los trámites pertinentes.

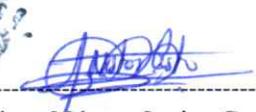


Ing. José David Díaz Tubón

C.I.: 1803385643

Cel: 09 630 64579

Jefe de Recursos Humanos



Telgo. Néstor Javier Castro Arcos

C.I.: 1804426946

Cel: 099 579 6726

Jefe de Mantenimiento

