



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

PROYECTO TÉCNICO

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

“DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y PREDICTIVO MEDIANTE LA DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL PARA LAS INYECTORAS HORIZONTALES DE POLÍMEROS EN LA EMPRESA INGENIERÍA DISEÑO DE SUELAS”

AUTOR: Fernando Isidro Freire Pérez

TUTOR: Ing. Mg. Byron Christian Castro Miniguano

Ambato – Ecuador

2019

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del proyecto técnico, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, con el tema: "DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y PREDICTIVO MEDIANTE LA DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL PARA LAS INYECTORAS HORIZONTALES DE POLÍMEROS EN LA EMPRESA INGENIERÍA DISEÑO DE SUELAS" realizado por el señor Fernando Isidro Freire Pérez, portador de la cédula de ciudadanía 180444532-6, y egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Certifico:

- Que la presente tesis es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos.
- Está concluida en su totalidad.

Ambato, 06 de Junio del 2019.



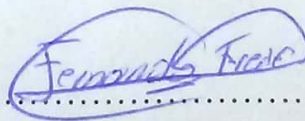
Ing. Mg. Christian Castro

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO TÉCNICO

El contenido desarrollado en el presente proyecto técnico: “DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y PREDICTIVO MEDIANTE LA DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL PARA LAS INYECTORAS HORIZONTALES DE POLÍMEROS EN LA EMPRESA INGENIERÍA DISEÑO DE SUELAS” así como los datos, análisis, resultados, conclusiones y recomendaciones son de autoría propia, con excepción de las referencias citadas en el mismo.

Ambato, 06 de Junio del 2019.



Fernando Isidro Freire Pérez

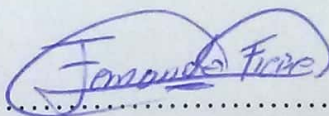
C.I. 180444532-6

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

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

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



Fernando Isidro Freire Pérez

C.I. 180444532-6

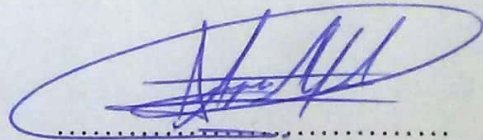
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Proyecto Técnico realizado por el egresado Fernando Isidro Freire Pérez de la carrera de Ingeniería Mecánica, bajo el tema: “DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y PREDICTIVO MEDIANTE LA DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL PARA LAS INYECTORAS HORIZONTALES DE POLÍMEROS EN LA EMPRESA INGENIERÍA DISEÑO DE SUELAS”.

Para constancia firman:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'J. López', enclosed within a large, loopy oval scribble. Below the signature is a horizontal dotted line.

Ing. Mg. Jorge López

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Oscar Analuiza', enclosed within a large, loopy oval scribble. Below the signature is a horizontal dotted line.

Ing. Mg. Oscar Analuiza

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación se lo dedicó primero a Dios por darme la sabiduría durante todos estos años y la fortaleza para afrontar las adversidades que se presentaron.

También dedicado el mismo a mi padre que fue un pilar muy importante para cumplir con mis objetivos y que desde el cielo seguirá siendo mi ejemplo, así también a mi madre que siempre fue mi apoyo y la consejera que me ayudo a seguir adelante en la carrera universitaria.

Por último, quiero dedicar este trabajo a mis hermanos que han sido el apoyo incondicional durante todos estos años de vida estudiantil.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Técnica de Ambato y la Facultad de Ingeniería Civil Y mecánica por brindarme los conocimientos impartidos durante estos años, además agradecer a los ingenieros, que formaron parte de mi carrera universitaria, por su paciencia y la sabiduría impartida durante los ciclos académicos.

Extiendo mi más sincero agradecimiento al Ing. Mg. Christian Castro quien me guio durante el proceso y desarrollo del presente trabajo técnico, así como su capacidad de impartir sus conocimientos para llevar de manera correcta el proyecto; así también a la empresa Ingeniería Diseño de Suelas en especial al Ing. German Ávila por brindarme la oportunidad de realizar mi trabajo de titulación en sus instalaciones.

También agradecer a mis amigos quienes me apoyaron durante todos estos años y me brindaron su amistad sincera y supieron apoyarme en el proceso de titulación.

ÍNDICE PRELIMINAR

Aprobación del tutor	II
Autoría del trabajo técnico	II
Derechos de autor.....	IV
Aprobación del tribunal de grado.....	V
Dedicatoria	VI
Agradecimiento	VII

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPITULO I.....	3
MARCO TEÓRICO.....	3
1.1. Antecedentes investigativos	3
1.2. Objetivos	4
1.2.1. Objetivo General:	4
1.2.2. Objetivos Específicos:.....	4
1.3. Fundamentación teórica	5
1.3.1. Mantenimiento	5
1.3.2. Tipos de mantenimiento.....	7
1.3.3. Objetivos del mantenimiento	9
1.3.4. Planes de mantenimiento.....	9
1.3.5. Tipos de plan de mantenimiento	10
1.3.6. Inventario de equipos	11
1.3.7. Dossier – Máquina	12
1.3.8. Fichero histórico de la máquina	12
1.3.9. Análisis de modos de fallos y efectos (AMFE)	13
1.3.9.1. Criterios AMFE	15
1.3.10. Distribución de Weibull	16

1.3.11. Normativas legales:.....	23
1.3.12. Máquina Inyectora de PVC:.....	24
CAPITULO II	28
METODOLOGÍA	28
2.1. Materiales y Recursos	28
2.1.1. Recursos Humanos.....	28
2.1.2. Recursos institucionales.....	28
2.1.3. Recursos materiales.....	28
2.1.4. Recursos económicos	28
2.2. Métodos	29
2.3. Modalidad de la investigación.....	30
2.3.1. Investigación aplicada (I).....	30
2.3.2. Bibliográfica documental	30
2.3.3. Investigación de campo.....	30
2.3.4. Recolección de la información.....	31
2.3.5. Desarrollo del proyecto	31
CAPITULO III.....	33
DESARROLLO DEL PROYECTO	33
3.1. Modelo operativo	33
3.1.1. Diagnóstico de la situación actual.....	33
3.1.2. Evaluación externa de la maquinaria:	33
3.1.3. Inventario de máquinas y herramientas:	34
3.1.4. Fichas técnicas:	34
3.1.5. Características de la máquina:.....	37
3.1.6. Condiciones de servicio especificadas:.....	37
3.1.7. Lista de repuestos intercambiabilidad.....	38
3.1.8. Sistema, subsistema y componentes:	39

3.1.9.	Instrucciones de montaje y funcionamiento:.....	41
3.1.10.	Normas de seguridad:.....	41
3.1.11.	Instrucciones de mantenimiento.....	43
3.2.	Parámetros utilizados	47
3.2.1.	Estadístico de mantenimiento anual.....	47
3.2.2.	Matriz AMFE.....	54
3.3.	Determinación de la fiabilidad mediante el modelo matemático y grafico de Weibull.....	63
3.3.1.	Modelo matemático de Weibull.....	63
3.3.2.	Modelo grafico de Weibull	76
3.4.	Desarrollo del plan de mantenimiento preventivo a partir de curvas de fiabilidad de Weibull.....	87
3.4.1.	Bitácora de mantenimiento preventivo:	87
3.4.2.	Gamas de mantenimiento.....	88
CAPITULO IV.....		101
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		101
4.1.	Conclusiones:	101
4.2.	Recomendaciones:.....	102
Bibliografía:		103
ANEXOS		105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Características del análisis NPR	14
Tabla 2.- Valores AMFE de gravedad	15
Tabla 3.- Valores AMFE de ocurrencia	15
Tabla 4.- Valores AMFE de detección.....	15
Tabla 5.- Ejemplo tabla de valores para porcentaje de falla	18
Tabla 6.- Recursos económicos.....	29
Tabla 7.- Inventario de máquinas y herramientas	34
Tabla 8.- Ficha técnica inyectora 1	35
Tabla 9.- Ficha técnica inyectora 2	36
Tabla 10.- Repuestos intercambiables inyectoras 1 y 2	38
Tabla 11.- Componentes y su función de las inyectoras 1 y 2.....	39
Tabla 12.- Frecuencias de mantenimiento	44
Tabla 13.- Frecuencias de operaciones de limpieza de la máquina	46
Tabla 14.- Frecuencias de operaciones de lubricación.....	46
Tabla 15.- Estadístico inyectora 1	48
Tabla 16.- Estadístico inyectora 2.....	51
Tabla 17.- Cuadro AMFE inyectoras 1 y 2	54
Tabla 18.- Datos estadísticos inyectora 1	63
Tabla 19.- Calculo de parámetros requeridos inyectora 1.....	64
Tabla 20.- Parámetros iniciales de la inyectora 1	66
Tabla 21.- Cálculo de Weibull inyectora 1	67
Tabla 22.- Datos estadísticos inyectora 2.....	69
Tabla 23.- Calculo de parámetros requeridos inyectora 2.....	71
Tabla 24.- Parámetros iniciales de la inyectora 2	73
Tabla 25.- Cálculo de Weibull inyectora 2	73
Tabla 26.- Cálculo porcentaje de falla acumulativa $F(i)$ inyectora 1	78
Tabla 27.- Parámetros de fallas inyectora 1	80
Tabla 28.- Confiabilidad de Weibull inyectora 1	80
Tabla 29.- Cálculo porcentaje de falla acumulativa $F(i)$ inyectora 2.....	83
Tabla 30.- Parámetros de fallas inyectora 2	85
Tabla 31.- Confiabilidad de Weibull inyectora 2.....	85

Tabla 32.- Tiempo de mantenimiento	88
Tabla 33.- Gama de mantenimiento mes de ENERO	89
Tabla 34.- Gama de mantenimiento mes de FEBRERO.....	90
Tabla 35.- Gama de mantenimiento mes de MARZO	91
Tabla 36.- Gama de mantenimiento mes de ABRIL.....	92
Tabla 37.- Gama de mantenimiento mes de MAYO.....	93
Tabla 38.- Gama de mantenimiento mes de JUNIO	94
Tabla 39.- Gama de mantenimiento mes de JULIO.....	95
Tabla 40.- Gama de mantenimiento mes de AGOSTO.....	96
Tabla 41.- Gama de mantenimiento mes de SEPTIEMBRE	97
Tabla 42.- Gama de mantenimiento mes de OCTUBRE	98
Tabla 43.- Gama de mantenimiento mes de NOVIEMBRE	99
Tabla 44.- Gama de mantenimiento mes de DICIEMBRE.....	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Esquema global de mantenimiento.....	6
Figura 2.- Evolución del mantenimiento.....	6
Figura 3.- Diagrama de decisión sobre el tipo de mantenimiento a aplicar.....	9
Figura 4.- Ejemplos de inventario de equipos.....	12
Figura 5.- Parte 1 de matriz AMFE.....	14
Figura 6.- Parte 2 de matriz AMFE.....	15
Figura 7.- Ejemplo de aplicación de datos en papel de Weibull.....	19
Figura 8.- Ejemplo de obtención de datos β y $P\mu$	20
Figura 9.- Ejemplo de obtención de datos MTBF.....	21
Figura 10.- Ejemplo de obtención de n estimador.....	22
Figura 11.- Curva de la bañera.....	23
Figura 12.- Partes de una inyectora horizontal de polímero.....	26
Figura 13.- Tipos de inyectoras.....	26
Figura 14.- Proceso de elaboración del plan de mantenimiento.....	32
Figura 15.- Gráfica MTBF vs D (inyectora 1).....	50
Figura 16.- Gráfico MTTR vs D (inyectora 2).....	50
Figura 17.- Gráfica MTBF vs D (inyectora 1).....	53
Figura 18.- Gráfica MTTR vs D (inyectora 2).....	53
Figura 19.- Gráfica Fiabilidad de Weibull inyectora 1.....	68
Figura 20.- Gráfica Infiabilidad de Weibull inyectora 1.....	68
Figura 21.- Gráfica Fiabilidad de Weibull inyectora 2.....	75
Figura 22.- Gráfica infiabilidad de Weibull inyectora 2.....	75
Figura 23.- Papel de Weibull inyectora 1.....	79
Figura 24.- Gráfica confiabilidad de Weibull inyectora 1.....	81
Figura 25.- Papel de Weibull inyectora 2.....	84
Figura 26.- Gráfica confiabilidad de Weibull inyectora 2.....	86

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo I.- NTP 331	¡Error! Marcador no definido.
Anexo II.- NTP 679.....	¡Error! Marcador no definido.
Anexo III.- Papel Weibull.....	¡Error! Marcador no definido.
Anexo IV.- Cálculo de rango medio acumulativo	¡Error! Marcador no definido.
Anexo V.- Planos Inyectora	¡Error! Marcador no definido.

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

DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y PREDICTIVO MEDIANTE LA DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL PARA LAS INYECTORAS HORIZONTALES DE POLÍMEROS EN LA EMPRESA “INGENIERÍA DISEÑO DE SUELAS”

Autor: Fernando Isidro Freire Pérez

Tutor: Ing. Mg. Byron Christian Castro Miniguano

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo técnico se desarrolla en base a las necesidades de llevar un mantenimiento preventivo y predictivo adecuado para las inyectoras de polímeros en la empresa de “Ingeniería Diseño de Suelas”, con la finalidad de disminuir los tiempos de reparación producidos por las fallas ocasionadas en los componentes de las máquinas y así poder evitar los paros innecesarios en la producción y en el inyectado de las suelas de zapatos. Para el desarrollo del plan se tomaron datos estadísticos de actividades de mantenimiento realizados con anterioridad, los cuales nos permitieron identificar mediante una matriz AMFE, los componentes más críticos o los más propensos a sufrir fallos. Posteriormente con los datos recolectados se procedió a realizar el análisis estadístico mediante la distribución de WEIBULL de cada máquina inyectora, tanto el modelo matemático como el modelo gráfico, calculando la confiabilidad de los datos que poseen un 95% de veracidad, debido a que el método WEIBULL permite dar un criterio más relevante sobre en qué posición de la curva de la bañera se encuentran las máquinas y las acciones pertinentes que se deben realizar para evitar los fallos.

Para llevar a cabo el presente proyecto se utilizó las NTP 331 y NTP 679 para el análisis WEIBULL y AMFE respectivamente, posteriormente se realizó las gamas de mantenimiento preventivo de cada mes para así llevar el control organizado del mismo evitando así paros innecesarios que perjudiquen el buen funcionamiento de las máquinas.

TECHNICAL UNIVERSITY OF AMBATO

FACULTY OF CIVIL AND MECHANICAL ENGINEERING

MECHANICAL ENGINEERING CAREER

DEVELOPMENT OF A PREVENTIVE AND PREDICTIVE MAINTENANCE PLAN THROUGH THE DISTRIBUTION OF WEIBULL FOR THE HORIZONTAL POLYMER INJECTOR IN THE COMPANY "INGENIERÍA DISEÑO DE SUELAS"

Author: Fernando Isidro Freire Pérez

Tutor: Eng. Mg. Byron Christian Castro Miniguano

ABSTRACT

The present technical work is developed based on the needs of carrying an adequate preventive and predictive maintenance for the injectors of polymers in the company of "Ingenieria Diseño de Suelas", with the purpose of diminishing the times of repair produced by the failures caused in the components of the machines and thus be able to avoid the unnecessary stops in the production and in the injected of the soles of shoes. For the development of the plan, statistical data of maintenance activities previously carried out were taken, which allowed us to identify, through an AMFE matrix, the most critical components or the most prone to failures. Subsequently, with the collected data, the statistical analysis was carried out by means of the WEIBULL distribution of each injector machine, both the mathematical model and the graphic model, calculating the reliability of the data that have a 95% truthfulness, because the method WEIBULL allows to give a more relevant criterion on which position of the curve of the bathtub are the machines and the pertinent actions that must be carried out to avoid the failures.

To carry out this project, NTP 331 and NTP 679 were used for the WEIBULL and AMFE analyzes respectively, after which the preventive maintenance ranges were carried out each month to keep the organized control of the same, thus avoiding unnecessary stoppages that harm the good operations of the machines.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

“DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y PREDICTIVO MEDIANTE LA DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL PARA LAS INYECTORAS HORIZONTALES DE POLÍMEROS EN LA EMPRESA INGENIERÍA DISEÑO DE SUELAS”

1.1. Antecedentes investigativos

A nivel mundial, el mantenimiento es importante para el buen funcionamiento y la eficiencia de las máquinas industriales, debido a que deben cumplir con los requerimientos específicos para cada tipo de proceso, por ende se han desarrollado proyectos de investigación sobre este tema a nivel mundial como es el caso de Raquel Vargas, la cual desarrollo un proyecto de investigación en el que plantea “LA ESTADÍSTICA EN EL MANTENIMIENTO Y REEMPLAZO ÓPTIMO EN EL CONTROL DE CALIDAD” basándose específicamente en la realización de un estudio de los modelos más usados que se ajusten a una distribución en los tiempos de falla, que permitan estudiar los procedimientos para una estimación panorámica de la función de la confiabilidad y función de densidad de falla resultantes de la actividad de mantenimiento preventivo [1].

Por otro lado Pesántez Álvaro desarrollo un tema de investigación referente a “ELABORACIÓN DE UN PLAN ANUAL DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y PREVENTIVO DE LOS EQUIPOS DEL PROCESO PRODUCTIVO QUE PRESENTEN UN MAYOR ÍNDICE DE CRITICIDAD PARA UNA EMPRESA EMPACADORA DE CAMARÓN” situada en la región costa del Ecuador, en el cual identifico que el proceso productivo depende directamente de las condiciones de los equipos intervenidos y que la etapa de mayor criticidad es la de congelación, además

de clasificar los equipos en dos grupos los cuales comprende los que afectan directamente al proceso productivo y los que afectan de manera indirecta [2].

Pico Edith por otro lado desarrollo un “PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA LA INYECTORA DE POLIURETANO DE LA EMPRESA CALZADO MARCIA - BUFFALO INDUSTRIAL” en la ciudad de Ambato, en el cual consta de diferentes sistemas que cumplen con las funciones necesarias para la inyección del poliuretano, además realizo un análisis de criticidad en el cual evaluó la frecuencia de falla, impacto en seguridad, ambiente e higiene, la flexibilidad, el costo y el impacto operacional; parámetros o indicadores esenciales para desarrollar la matriz de criticidad y posteriormente el plan de mantenimiento. En este proyecto de investigación además se realizó un análisis modal de fallas según AMFE de la máquina inyectora, identificando las posibilidades de fallo de los componentes o subsistemas presentes en dicha máquina [3].

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General:

- Desarrollar un plan de mantenimiento preventivo y predictivo mediante la distribución de Weibull para las inyectoras horizontales de polímeros en la empresa “Ingeniería diseño de suelas”.

1.2.2. Objetivos Específicos:

1. Determinar el estado actual de las máquinas inyectoras mediante análisis de fallos y modos de fallo AMFE de acuerdo con la NTP 679.

Se utilizará la NTP 679 para realizar la matriz de criterios ponderados AMFE, en dicha nota técnica se especifican los valores de gravedad, ocurrencia y detección; los cuales permitirán realizar un criterio de acorde a los fallos encontrados y descritos en el estadista de fallas y así elaborar una matriz AMFE en la que se identifiquen los componentes que tienden a fallar con más frecuencia.

2. Identificar los parámetros para el mantenimiento preventivo y predictivo utilizando la distribución de Weibull según la NTP 331.

Los parámetros se identificarán a partir de un estadístico de fallas, el cual ayudara en la determinación de los parámetros que intervienen en la distribución de Weibull aplicando la NTP 331. En dicha nota técnica se especifica el procedimiento que se debe seguir para calcular cada uno de los parámetros necesarios para la aplicación del método gráfico y matemático utilizando la distribución Weibull para la determinación de la fiabilidad.

3. Determinar la fiabilidad que tendrán las inyectoras mediante la distribución de Weibull.

La fiabilidad de Weibull se determinara a partir de dos métodos: matemático y gráfico, en los cuales intervienen los datos obtenidos a partir del estadístico de fallas así como también las ecuaciones estadísticas que permitirán determinar los parámetros requeridos por el método matemático, mientras que se utilizara el papel de Weibull para determinar dichos parámetros de una forma gráfica, con la finalidad de desarrollar la ecuación planteada en la NTP 331 que corresponde a la fiabilidad de Weibull.

4. Realizar las Gamas de mantenimiento preventivo para la maquinaria.

Las gamas de mantenimiento se realizarán una vez desarrollado el análisis de fiabilidad de los componentes, detallando las actividades mensuales que se deberán realizar para evitar posibles fallas en los periodos de funcionamiento de la máquina inyectora, así como las actividades de limpieza y lubricación correspondiente para prevenir fallos inesperados de los componentes.

1.3. Fundamentación teórica

1.3.1. Mantenimiento

Son conjuntos de actividades destinadas a mantener un equipo o sistema en condiciones operativas que cumplan las funciones para las cuales fueron diseñados (ver figura 1). También al mantenimiento se lo puede definir como la función empresarial a la que se encomienda el control del estado de los equipos e instalaciones asegurando que todo activo continúe desempeñando las funciones deseadas. Conforme envejece el equipo, sus componentes se desgastan, aumentando la frecuencia de falla y como consecuencia, los gastos de mantenimiento son mayores, además de que el

mantenimiento en los últimos años ha ido mejorando en sus procedimientos (figura 2) [4].

Son misiones de mantenimiento:

- La vigilancia permanente y/o periódica.
- Las acciones preventivas.
- Las acciones correctivas (reparaciones).
- El reemplazamiento de maquinaria. [4]

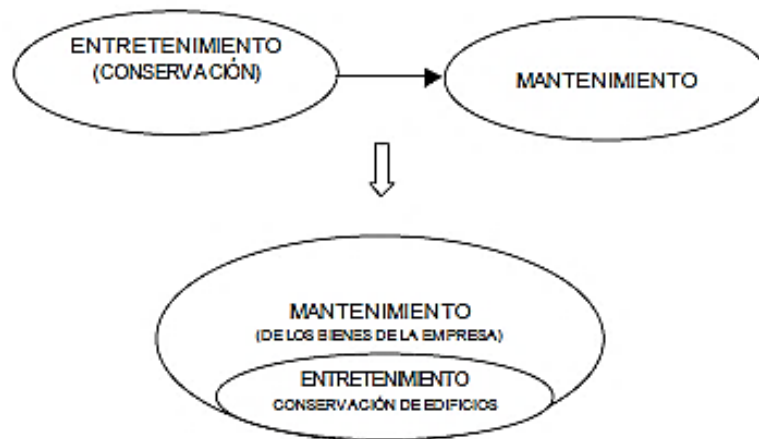


Figura 1.- Esquema global de mantenimiento
Fuente: [4]

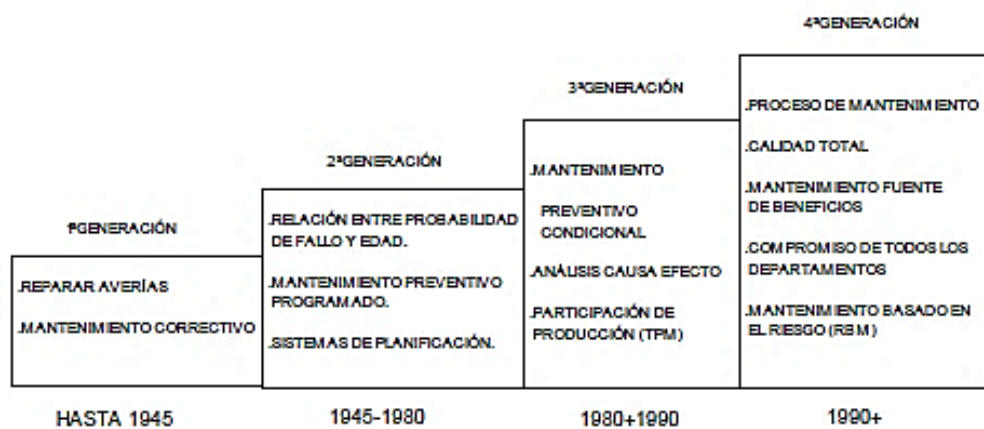


Figura 2.- Evolución del mantenimiento
Fuente: [4]

El mantenimiento por ende tiene tareas de servicios responsables que cubren las necesidades, tales como:

- Mantenimiento de equipos.
- Realización de mejoras técnicas.
- Colaboración en las nuevas instalaciones: especificación, recepción y puesta en marcha.
- Recuperación y nacionalización de repuestos.
- Ayudas a fabricación (cambios de formato, proceso, etc.).
- Aprovisionamiento de útiles y herramientas, repuestos y servicios (subcontratación).
- Participar y Promover la mejora continua y la formación del personal.
- Mantener la Seguridad de las instalaciones a un nivel de riesgo aceptable.
- Mantenimientos generales (Jardinería, limpiezas, vehículos, etc.). [4]

1.3.2. Tipos de mantenimiento

En el mantenimiento se puede diferenciar varios tipos que son utilizados según las necesidades de operación (figura 3), cuentan con características propias que difieren en función del momento en que se realiza y el objetivo para el que se pone en marcha. Un plan de mantenimiento adecuado consta de la combinación de los diferentes tipos de mantenimiento. Actualmente se reconoce los siguientes: [4]

- **Mantenimiento preventivo**

El mantenimiento preventivo es una estrategia en la que se programan periódicamente las intervenciones de máquinas, con el fin de inspeccionar, reparar y/o reemplazar componentes. También intenta anticipar o prever las fallas para evitar daños y paros imprevistos. Las intervenciones se realizan aun cuando la máquina está operando satisfactoriamente. Programa el mantenimiento basándose en estimaciones de vida útil o tiempo entre fallas esperadas. [3]

- **Mantenimiento predictivo**

También conocido como “Mantenimiento Basado en Condiciones CBM”, monitorea y detecta parámetros operativos de los sistemas, máquinas y equipos. Realiza un seguimiento del desgaste de los mismos para determinar o predecir el punto exacto de cambio o reparación. Busca determinar el punto óptimo para la ejecución del mantenimiento preventivo en un equipo, es decir, el punto a partir del cual la probabilidad que el equipo falle y asuma valores indeseables y programa el mantenimiento basado en el pronóstico de ocurrencia de fallas o vida remanente. [3]

Así, el tiempo muerto del equipo se minimiza y el tiempo de vida del componente se maximiza. Esta técnica supone la medición de diversos parámetros que muestren una relación predecible con el ciclo de vida del componente. Algunos ejemplos de dichos parámetros son los siguientes: [4]

- ✓ Vibración de cojinetes
- ✓ Temperatura de las conexiones eléctricas
- ✓ Resistencia del aislamiento de la bobina de un motor
- ✓ Presencia de fisuras
- ✓ Oxidación de componentes
- ✓ Fricción entre componentes móviles [4]

- **Mantenimiento correctivo**

También llamado “mantenimiento reactivo”, consiste en dejar a los equipos que operen sin ningún servicio o control del estado de estos, hasta que se produzca una falla en su funcionamiento en la mayoría de las ocasiones hasta que llegue a detenerse. El mantenimiento correctivo tiene costo nulo en función del tiempo, hasta que la unidad falla, y hay que repararla sorpresivamente y de urgencia, sin posibilidades de planificación y programación. Se caracteriza por generar lucros cesantes y daños que representan costos de gran magnitud. [3]

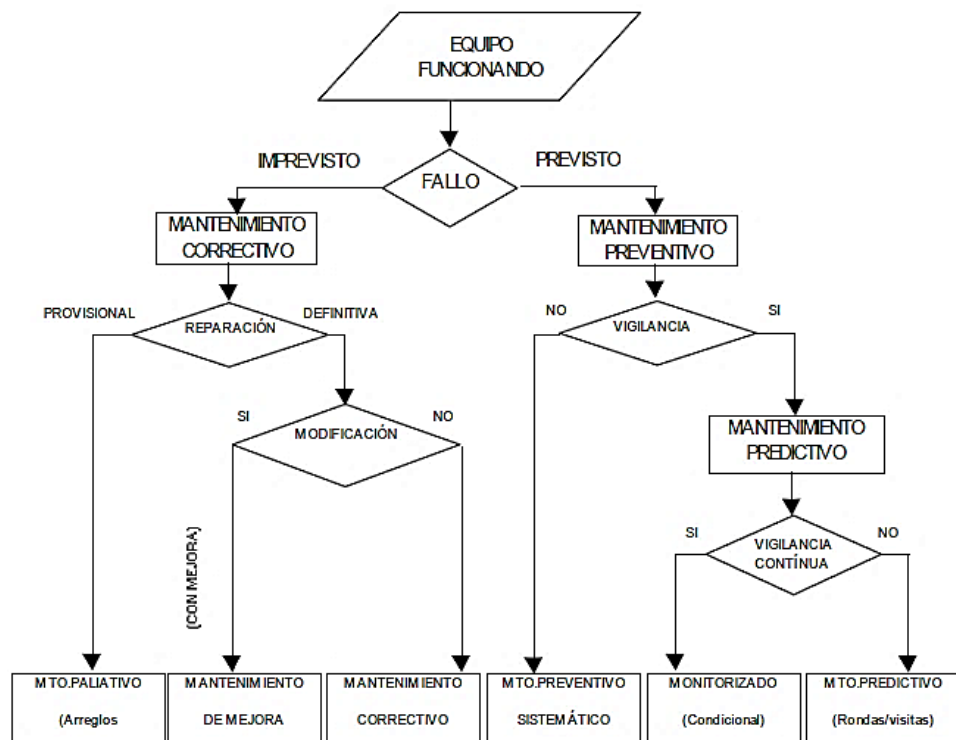


Figura 3.- Diagrama de decisión sobre el tipo de mantenimiento a aplicar
Fuente: [4]

1.3.3. Objetivos del mantenimiento

- ✓ Mejorar continuamente los equipos hasta su más alto nivel operativo, mediante el incremento de la disponibilidad, efectividad y confiabilidad.
- ✓ Aprovechar al máximo los componentes de los equipos, para disminuir los costos de mantenimiento.
- ✓ Garantizar el buen funcionamiento de los equipos, para aumentar la producción.
- ✓ Cumplir todas las normas de seguridad y medio ambiente.
- ✓ Maximizar el beneficio global [5].

1.3.4. Planes de mantenimiento

Los planes de mantenimiento se los define como el conjunto de tareas de mantenimiento seleccionadas y dirigidas a proteger la función de un activo, estableciendo una frecuencia de ejecución de estas y el personal destinado a realizarlas [6].

El plan de mantenimiento engloba tres tipos de actividades:

1. Las actividades rutinarias que se realizan a diario, y que normalmente las lleva a cabo el equipo de operación.
2. Las actividades programadas que se realizan a lo largo del año.
3. Las actividades que se realizan durante las paradas programadas. [6]

1.3.5. Tipos de plan de mantenimiento

Existen una variedad de planes de mantenimiento, pero los más utilizados por su estructura y funcionalidad son: [4]

➤ Plan de mantenimiento basado en fabricantes

La elaboración de un plan de mantenimiento de una instalación industrial, es decir, la determinación del conjunto de tareas de carácter preventivo que es necesario realizar en la instalación basándose en lo indicado por los fabricantes en los manuales de operación y mantenimiento de cada uno de los equipos que la componen, es la forma más cómoda y habitual de elaborar un plan de mantenimiento. No obstante, presenta algunos inconvenientes graves que es necesario analizar antes de decidir basar el plan de mantenimiento exclusivamente en las recomendaciones de los suministradores. [3]
[4]

➤ Plan de mantenimiento basado en protocolos

El conjunto de tareas de mantenimiento que corresponde a un equipo tipo se denomina protocolo de mantenimiento programado. Si se elaboran los protocolos de mantenimiento de todos los tipos de equipos presentes en todo tipo de instalaciones industriales y se confecciona posteriormente una lista con todos los equipos de los que dispone la instalación concreta que se está analizando, solo hay que aplicar el protocolo de mantenimiento que le corresponde a cada uno de ellos para tener una lista completa y detallada de todas las tareas de mantenimiento preventivo a realizar en la planta. [3]
[4]

➤ Plan de mantenimiento basado en la confiabilidad (MCC)

El objetivo fundamental de la implantación de un mantenimiento centrado en fiabilidad en una planta industrial es aumentar la fiabilidad de la instalación, es decir,

disminuir el tiempo de parada de planta por averías imprevistas que impidan cumplir con los planes de producción. Los objetivos secundarios, pero igualmente importantes son aumentar la disponibilidad, es decir, la proporción del tiempo que la planta está en disposición de producir, y disminuir al mismo tiempo los costes de mantenimiento, así como también mejora la comprensión del funcionamiento de los equipos, analiza todas las posibilidades de fallo de un sistema y desarrolla mecanismos que tratan de evitarlos, ya sean producidos por causas intrínsecas al propio equipo o por actos personales [7].

La aplicación de estas técnicas y metodologías actuales como la del mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC), traen como consecuencia la disminución de las "interrupciones (paradas inesperadas por fallas)" que a su vez incrementan la "disponibilidad" de los equipos, traduciéndose esto en un menor gasto por mantenimiento correctivo indeseado y obteniendo productos de excelente calidad, que es lo que se quiere en este mundo tan competitivo a nivel industrial [7].

La herramienta MCC proporciona siete preguntas que se deben efectuar, respecto al equipo seleccionado para mantenimiento:

1. Funciones: ¿Cuáles son las funciones y patrones de desempeño del equipo en su contexto operacional actual?
2. Fallas funcionales: ¿De qué forma falla el equipo al cumplir sus funciones?
3. Modo de falla: ¿Qué ocasiona cada falla funcional?
4. Efectos de falla: ¿Qué consecuencias genera cada falla?
5. Consecuencia de falla: ¿En qué formas afecta cada falla funcional?
6. Tareas proactivas y frecuencia: ¿Qué debe hacerse para predecir o prevenir cada falla funcional?
7. Tarea por omisión: ¿Qué debería hacerse si no se puede hallar tareas proactivas aplicables? [8].

1.3.6. Inventario de equipos

Un inventario de equipos es un registro o listado de todos los equipos, codificado y localizado, para clasificarlos por familias, plantas, instalaciones, etc. También al

inventario se lo conoce como un criterio de criticidad para asignar prioridades y niveles de mantenimiento a los distintos tipos de equipos (figura 4). La codificación permite la gestión técnica y económica y es imprescindible para un tratamiento por ordenador. [4]

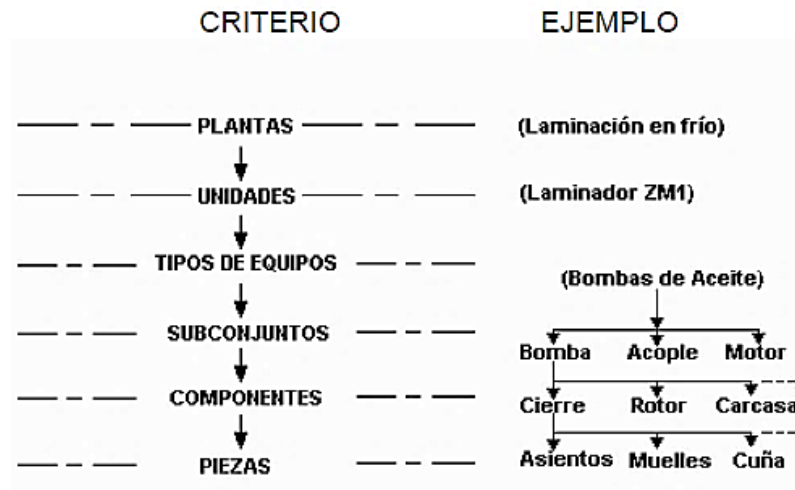


Figura 4.- Ejemplos de inventario de equipos
Fuente: [4]

1.3.7. Dossier – Máquina

Llamado también como dossier técnico o dossier de mantenimiento, es un documento el cual permite el conocimiento exhaustivo de los equipos, además de contener la documentación tales como dossier del fabricante (planos, manuales, etc.) y ficheros internos de la máquina (inspecciones periódicas, reglamentos, etc.). [4]

1.3.8. Fichero histórico de la máquina

Es la descripción cronológica de las intervenciones sufridas por la máquina partiendo de su puesta en marcha en el proceso. En este documento se deben recoger todas las intervenciones correctivas y preventivas, además las que sean por imperativo legal, así como calibraciones o verificaciones de instrumentos incluidos en el plan de calibración. [3] [4]

Con estos datos será posible realizar los siguientes análisis:

- a. Análisis de fiabilidad: Cálculos de la tasa de fallos, MTBF, etc.

- b. Análisis de disponibilidad: Cálculos de mantenibilidad, disponibilidad y sus posibles mejoras.
- c. Análisis de mejora de métodos: Selección de puntos débiles, análisis AMFE.
- d. Análisis de repuestos: Datos de consumos y nivel de existencias óptimo, selección de repuestos a mantener en stock.
- e. Análisis de la política de mantenimiento [4]

1.3.9. Análisis de modos de fallos y efectos (AMFE)

La metodología del análisis de modo y efecto de las fallas (AMFE) permite identificar las fallas que se producen en un producto o un proceso y, a partir de un análisis de su frecuencia, formas de detección y el efecto que provocan; estas fallas se jerarquizan, y para las fallas que vulneran más la confiabilidad del producto o el proceso será necesario generar acciones para atenderlas [24]. Es un método inductivo y cualitativo que permite pasar revista al conjunto de los órganos de un sistema o instalación, definiendo: [4]

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

Dentro del desarrollo del AMFE se determina el NPR (Número de prioridad de riesgo), el cual se da por la multiplicación por tres índices de probabilidad, los cuales son la gravedad o severidad, el nivel de ocurrencia y por la facilidad de detección, como se muestra en la expresión. [4]

$$\text{NPR} = \text{Gravedad (G)} * \text{Frecuencia (F)} * \text{Deteccion (D)} \quad \text{Ec (1)}$$

La valoración proporciona una estimación numérica de los respectivos parámetros:

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

G: Gravedad. Estimación subjetiva de las consecuencias.

D: Detección. Estimación subjetiva de la probabilidad de ser detectado el fallo potencial [3] [4]

Dichos índices de evaluación se van determinando en escalas de 1 hasta 10 en función de las características que se describan para cada uno de ellos, siendo puntaje el menor 1 y 10 el mayor para la evaluación y por consecuencia el valor más crítico de un AMFE, como se indica en la tabla siguiente: [3] [4]

Tabla 1.- Características del análisis NPR

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

Fuente: [4]

En la matriz AMFE están constituida por grupos multidisciplinarios que constituyen una ventaja adicional en el análisis de fallos y frecuencias de fallos, las cuales son:

- Funciones. -describen las especificaciones (características) y expectativas de desempeño que se le exigen al activo físico que se está analizando.
- Fallo Funcional. -se refiere a la falta o incumplimiento de la función, definiéndose como la incapacidad de un ítem para satisfacer un parámetro de desempeño deseado.
- Modo de Fallo. -forma en que el dispositivo o el sistema puede dejar de funcionar o funcionar anormalmente.
- Causa Raíz. - Anomalía inicial que puede conducir al fallo. Un mismo tipo de fallo puede conducir a varias causas.
- Consecuencia. - Efecto del fallo sobre la máquina, la producción, el producto, sobre el entorno inmediato. [3] [4]

Sección:		Marca:			
Equipo:		Modelo:			
N°	Componente	Función	Falla funcional	Modo de fallo	Causa Raiz

Figura 5.- Parte 1 de matriz AMFE

Fuente: [4]

Fecha Rea:		Hoja N°:			
Fecha Rev:		De:			
Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
	F	G	D	MPR	

Figura 6.- Parte 2 de matriz AMFE

Fuente: [4]

1.3.9.1. Criterios AMFE

Los criterios de análisis para la obtención del número de prioridad de riesgo se establecen en las tablas siguientes:

Tabla 2.- Valores AMFE de gravedad

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 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 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

Fuente: [4]

Tabla 3.- Valores AMFE de frecuencia

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

Fuente: [4]

Tabla 4.- Valores AMFE de detección

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

Fuente: [4]

1.3.10. Distribución de Weibull

La distribución de Weibull es el método más utilizado para la determinación y predicción de fallas, los cuales el 85% -95% de todos los datos de vida se describen adecuadamente con el modelo matemático y gráfico de probabilidad de Weibull, con la intención de proporcionar la información cuantitativa necesaria para tomar decisiones en el tipo de mantenimiento a realizar. [5] [6]

Este análisis permite calcular la probabilidad de fallos y la fiabilidad según el estadístico de mantenimiento realizado con los datos obtenidos durante el análisis y recolección de datos. [5] [6]

1.3.10.1. Modelo matemático de Weibull:

Para el modelo matemático se toma en consideración las funciones Weibull de confiabilidad y de tasa de falla propuestas por Waloddi Weibull, las cuales están dadas por las ecuaciones:

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t_0 - \gamma}{\alpha} \right)^{\frac{1}{\beta}} \right] \quad \text{Ec (2)}$$

$$F(t) = 1 - R(t) \quad \text{Ec (3)}$$

Donde:

$R(t)$ = Fiabilidad o Confiabilidad

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

β = Parámetro de forma: representa la pendiente de la recta describiendo el grado de variación de la tasa de fallos

α = Parámetro de escala – vida característica

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

t_0 = Tiempo de operación (h) [5] [6]

Cabe mencionar que el parámetro de localización γ es 0 debido a que dicho parámetro indica, en el tiempo, el momento a partir del cual se genera la distribución de Weibull, por ende, como las máquinas inyectoras no constan de un plan de mantenimiento y siendo la primera vez que se aplica a estas máquinas la distribución de Weibull se considera el parámetro de localización 0. [5] [6]

Para la determinación de los parámetros β y α , es necesario calcular los valores de la media aritmética (\bar{x}), la varianza (S^2), la desviación estándar (S), el tiempo de falla de cada evento (t_i) y el número de datos o eventos (n), mediante los datos del estadístico de cada máquina inyectora y a partir de las ecuaciones siguientes: [5] [6]

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n \ln(t_o)}{n} \quad \text{Ec (4)}$$

$$S^2 = \frac{(\sum \ln(t_o) - \bar{x})^2}{(n-1)} \quad \text{Ec (5)}$$

$$S = \sqrt{S^2} \quad \text{Ec (6)}$$

$$\beta = \frac{\pi}{s\sqrt{6}} \quad \text{Ec (7)}$$

$$\alpha = \exp\left(\bar{x} + \left(\frac{0.5772}{\beta}\right)\right) \quad \text{Ec (8)}$$

1.3.10.2. Modelo gráfico de Weibull

Para la determinación de los parámetros adecuados para realizar el cálculo de la distribución de Weibull, utilizaremos las tablas y los gráficos especificados en la NTP 331, tomando en consideración el papel Weibull y los datos de los estadísticos de cada máquina inyectora. [5] [6]

A continuación, se detallan los pasos a seguir para la determinación de la fiabilidad de Weibull por el método gráfico: [5] [6]

Paso 1

Se debe tener un registro de las fallas con sus respectivos tiempos agrupados en forma ascendente, según el tiempo de falla; posteriormente se procede a estimar el Porcentaje de fallas acumulativa (función de distribución acumulativa F(i). [5] [6]

Paso 2

Para calcular el porcentaje de fallas acumulativas $F(i)$ se determina a partir de la probabilidad de que ocurra la falla utilizando la ecuación siguiente: [5] [6]

$$F(i) = \frac{\# \text{ de fallas}}{\# \text{ total de fallas}} \quad \text{Ec (9)}$$

Debido a que el método de Weibull tiene una confiabilidad alta, en los datos no se recomienda utilizar la ecuación anterior, por ello y para una mejor aproximación de $F(i)$ se usa los valores de Rango Medio los cuales están tabulados y se obtienen a partir de: [5] [6]

$$\sum_{r=i}^n \frac{n!}{r!(n-r)!} [F(i)]^r [1 - F(i)]^{n-r} = 0.5 \quad \text{Ec (10)}$$

Donde:

i = número de orden de la observación (número de falla)

n = tamaño del ejemplo o de la muestra (total de fallas) [5] [6]

En caso de haber tamaños de muestra mayores a 20, se aplicará la fórmula de aproximación de rangos medios que se muestra a continuación:

$$F(i) = \frac{i-0.3}{n+0.4} \quad \text{Ec (11)}$$

Para tamaños de muestra mayores a 100 se aplicará la ecuación siguiente:

$$F(i) = \frac{i}{n+1} \quad \text{Ec (12)}$$

Una vez calculados los parámetros obtendremos una tabla de valores:

Tabla 5.- Ejemplo tabla de valores para porcentaje de falla

Tiempo de falla	Porcentaje de falla acumulativa $F(i)$
T1	F (1)
T2	F (2)
T3	F (3)
T4	F (4)
Tn	F(i)

Fuente: [5]

Cabe recalcar que los valores calculados pertenecen a valores con una confianza del 50 %, por lo que es posible incrementar el valor y confianza mediante procedimientos gráficos en el papel de Weibull, con los datos tabulados anteriormente. [5] [6]

Paso 3:

En el papel de Weibull se grafica los valores de tiempo de falla en el eje x y distribución acumulativa eje y, obteniendo una consecución de puntos en los cuales se traza una recta que contenga la mayor cantidad de datos (línea de tendencia), como se indica en la figura siguiente: [5] [6]

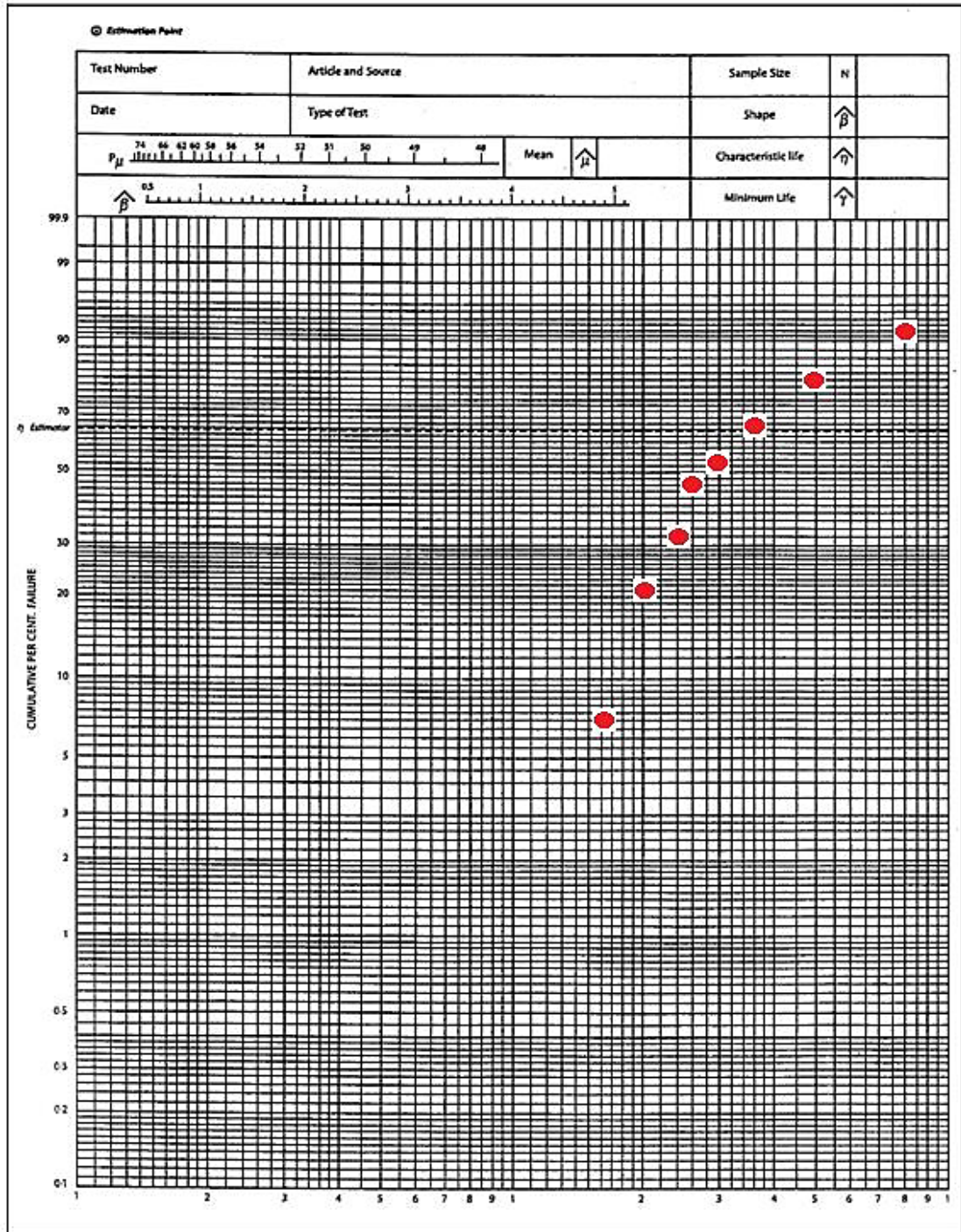


Figura 7.- Ejemplo de aplicación de datos en papel de Weibull

Fuente: [5]

Paso 4:

Para obtener el parámetro β y $P\mu$ se traza una perpendicular a la recta graficada con anterioridad, esta línea se traza a partir del punto de referencia (Estimacion point) ubicado en la parte superior izquierda del papel de Weibull como se muestra en la figura 6: [5] [6]

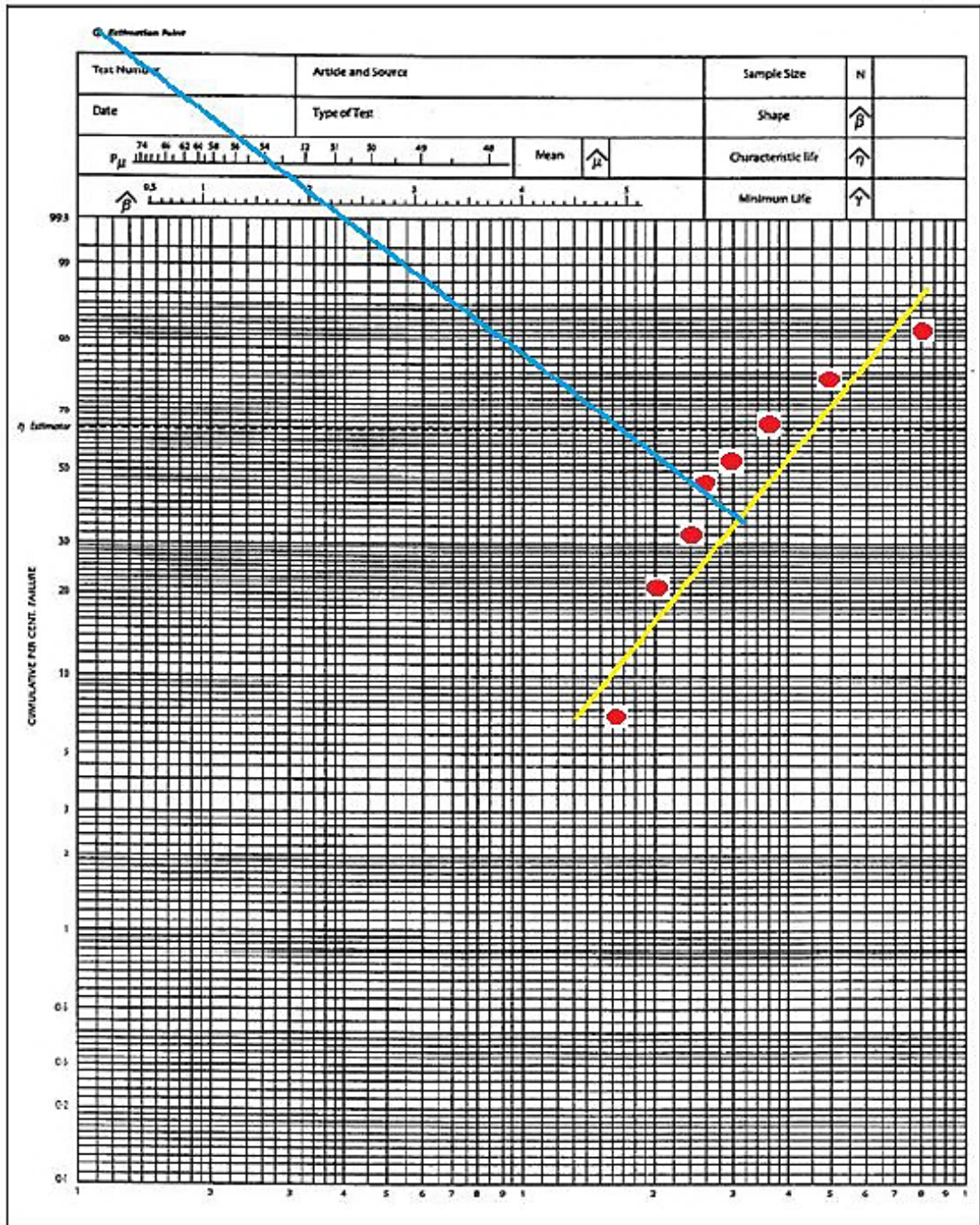


Figura 8.- Ejemplo de obtención de datos β y $P\mu$
Fuente: [5]

Paso 5:

Con el valor P_{μ} obtenido trazamos una recta horizontal desde el eje y (Cumulative Per Cent. Failure) hasta encontrar la línea de tendencia graficada, a continuación, proyectamos la misma recta hasta encontrar el eje x (figura 7), obteniendo así el valor de la media (MTBF) el cual debemos multiplicar por 100. [5] [6]

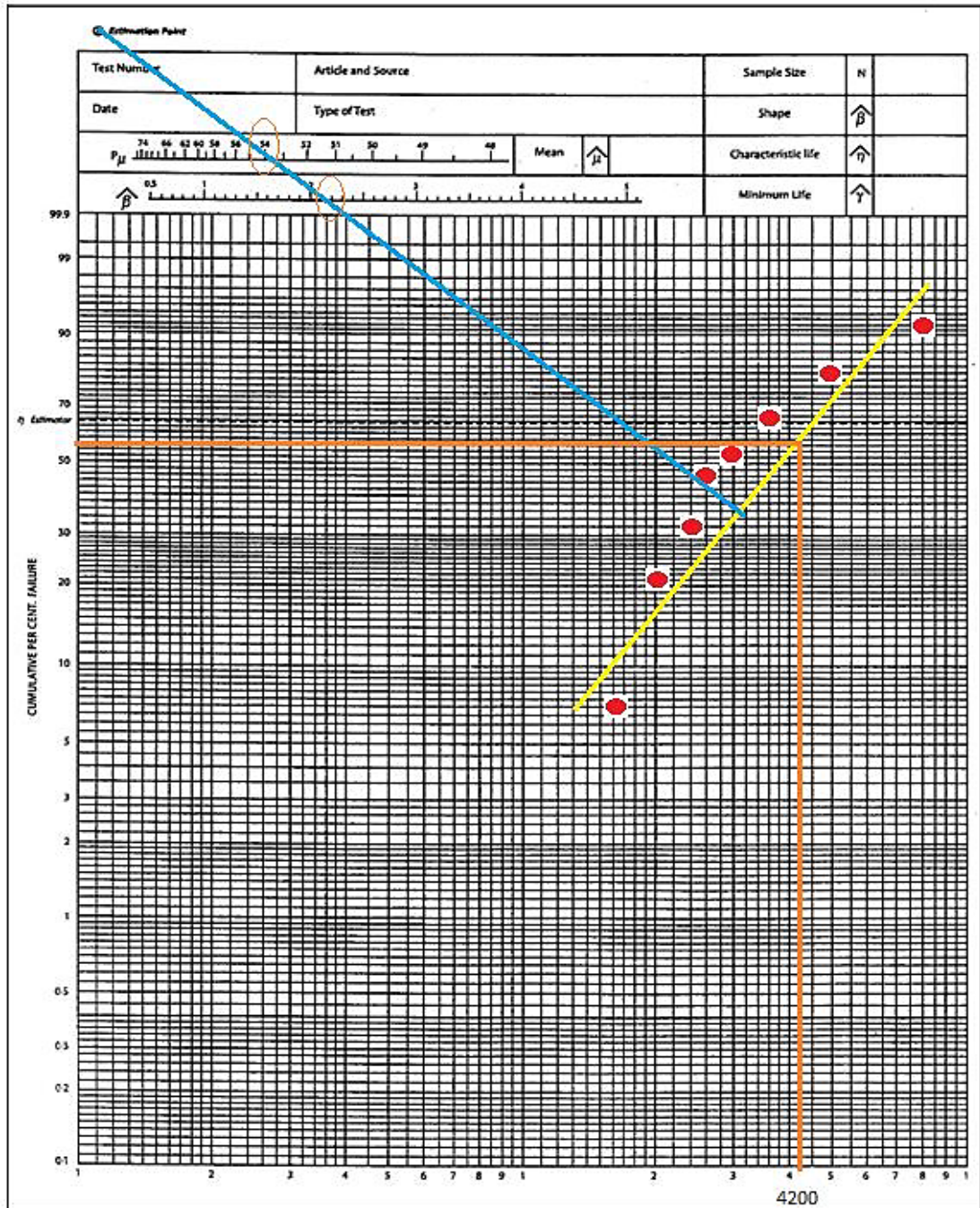


Figura 9.- Ejemplo de obtención de datos MTBF
Fuente: [5]

Paso 6:

Como ultimo paso trazamos desde el punto de referencia “n estimador” una línea horizontal que llegue hacia la línea de tendencia y posteriormente proyectamos hacia el eje x como muestra la línea de color verde en la figura siguiente: [5] [6]

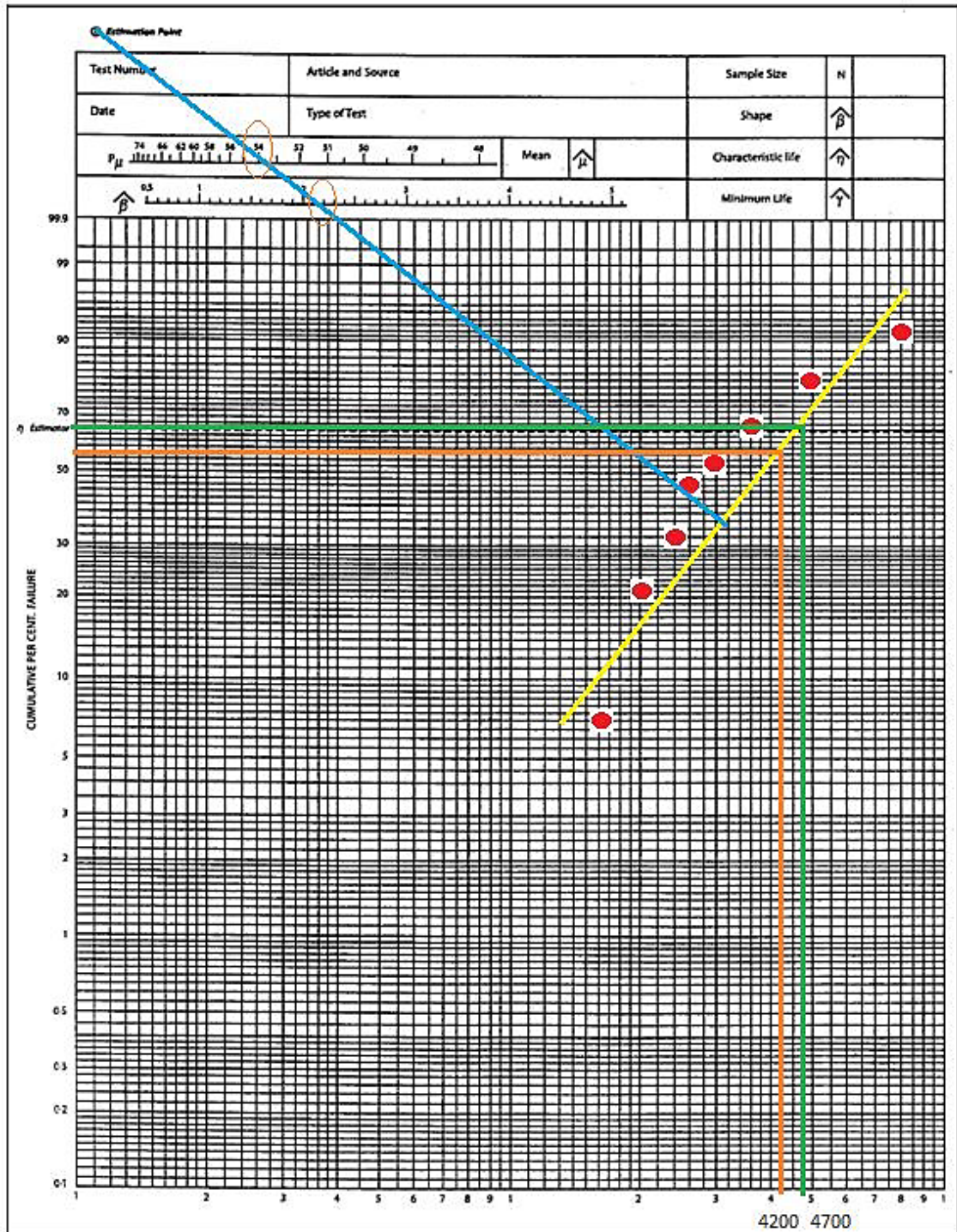


Figura 10.- Ejemplo de obtención de n estimador

Fuente: [5]

Una vez determinado los parametros procedemos a reemplazar en la ecuacion siguiente:

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t_0 - \gamma}{n} \right)^\beta \right] \quad \text{Ec (13)}$$

Donde:

t_0 = Tiempo de operación (h)

β = Parámetro de forma: representa la pendiente de la recta describiendo el grado de variación de la tasa de fallos

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

n = Parámetro calculado de papel de Weibull [5] [6]

Existe una curva típica de fallos (curva de la bañera) que representa los diferentes tipos de falla que un equipo o componente del mismo sufre durante el periodo de tiempo desde su puesta en operación hasta que termina su ciclo de vida útil. La Figura 11, muestra la curva representativa de los tres componentes que forman la curva típica de flujo de fallos o también conocida como la curva de la bañera. [6]

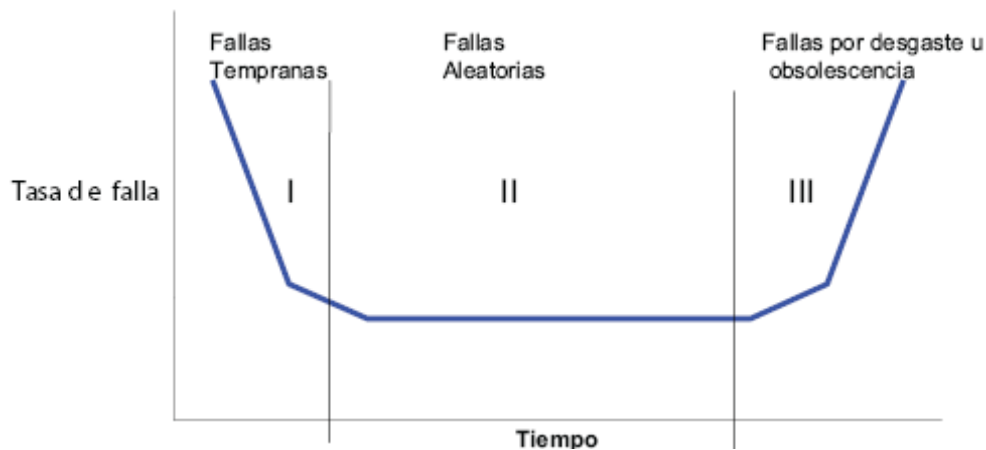


Figura 11.- Curva de la bañera

Fuente: [6]

Aquí podemos evidenciar que para valores de $\beta < 1$ corresponden a una zona de fallas tempranas (mortalidad infantil) en el cual se procede a realizar un mantenimiento predictivo; así también para valores de $\beta > 1$ la zona correspondiente es de fallas por desgaste (envejecimiento) lo cual se procede a realizar un mantenimiento preventivo. [6]

Esta nota técnica de prevención nos permite exponer un tipo de distribución estadística aplicable en los estudios de la fiabilidad en problemas relativos a la fatiga y la vida útil de los componentes y materiales. Utilizando la distribución de Weibull, el cual fue creado por un investigador sueco; esta distribución se caracteriza por considerar la tasa de fallos variable, además de ser flexible y que se ajusta a una gran variedad de funciones de sistemas y componentes. [10]

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

La nota técnica de prevención 679 es utilizada para exponer el método de análisis modal de fallos y efectos de elementos clave de procesos o productos, además de tratarse de un método cualitativo que por sus características, resulta de utilidad para la prevención integral de riesgos, incluidos los laborales. [11]

1.3.12. Máquina Inyectora de PVC:

Es la máquina con la que se lleva a cabo el proceso de inyección de plástico, principalmente del tipo horizontal. Su función es la de proveer de materia prima al molde que se encargará de darle forma y enfriarla. Como su nombre indica, la materia prima que utiliza esta máquina es el plástico. Básicamente, el funcionamiento de la máquina inyectora de plástico consta de tres principios [12]:

- Se eleva la temperatura para fundir el plástico a un grado tal que pueda fluir cuando se le aplica presión. Este incremento de temperatura suele llevarse a cabo en una parte de la máquina conocida como barril. En este barril se depositan gránulos del plástico que, al calentarse, forman una masa viscosa y de temperatura uniforme. Es importante mencionar en este punto que el plástico no es un buen conductor de calor, por lo que el proceso de incremento de temperatura debe combinarse con un proceso de corte a velocidad para que sea más eficiente el fundido [12].
- La masa viscosa que se obtiene de la fundición de los gránulos de plástico se inyecta por medio de un canal que irá disminuyendo su profundidad de forma gradual. De esta manera, la presión ejercida dentro de ese canal “empujará” la masa viscosa para que pase a través de la compuerta directamente al molde [12].
- Dentro del molde, la masa viscosa es sometida a la presión del mismo hasta que se enfría y se solidifica. Ya en estado sólido, la pieza es retirada para su posterior

decoración o empaque, según la finalidad. Cuando se obtiene una pieza ya solidificada, el proceso de inyección de plástico puede reiniciarse para continuar con la producción. Un aspecto importante del proceso de inyección de plástico es que no produce contaminación directa al no emitir gases contaminantes ni altos niveles de ruido [13].

El proceso de moldeo por inyección consta de fundir un material para inyectarlo dentro de un molde a través de un pequeño orificio llamado compuerta. Este molde debe estar frío y cerrado a presión. Una vez que ha sido inyectado el material se enfría dentro del molde, se solidifica y se obtiene una pieza moldeada [13].

Entre los materiales a los que se les aplica el proceso de moldeo por inyección se encuentran:

- Metales
- Materiales cerámicos
- Plásticos

En la actualidad, el moldeo por inyección aplicado al plástico es uno de los procesos más utilizados en la producción de piezas como juguetes, artículos de uso doméstico, partes de automóviles, componentes de aeronaves, entre otras [14].

La producción de piezas de plástico por medio del moldeo por inyección representa varias ventajas, entre ellas:

- Rapidez de fabricación de piezas
- Alto nivel de producción
- Gran variedad de formas en las piezas
- Bajos costos de producción
- Versatilidad en los diseños [14].

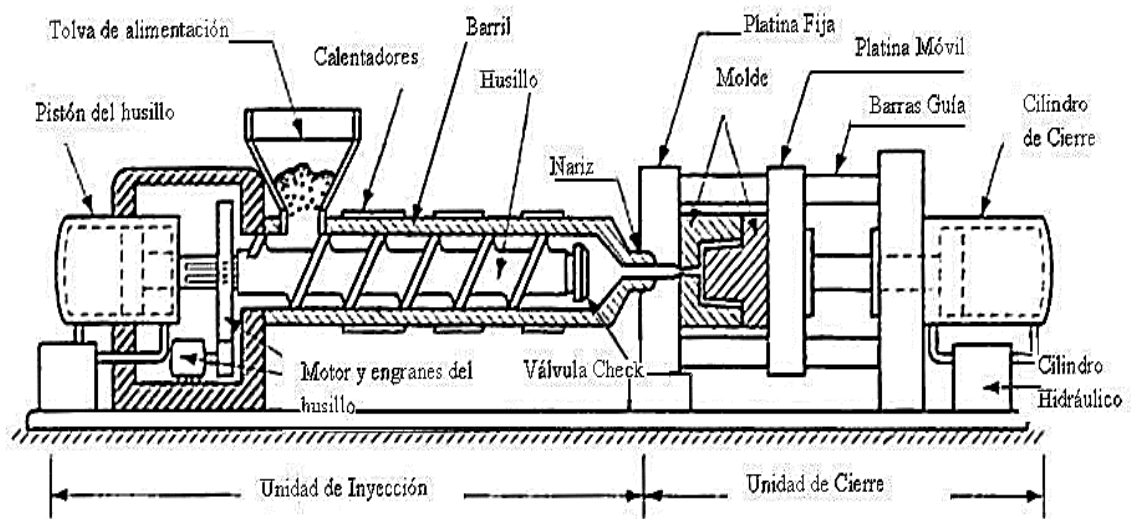


Figura 12.- Partes de una inyectora horizontal de polímero

Fuente: [14]

Los tipos de inyectoras que se pueden encontrar son de 4 tipos: horizontales, verticales, angulares y de molde horizontal con inyectado vertical, como se indica en la figura 10. Cabe mencionar que la inyectora de polímero horizontales son las más utilizadas en la mayoría de proceso de inyectado. [14]

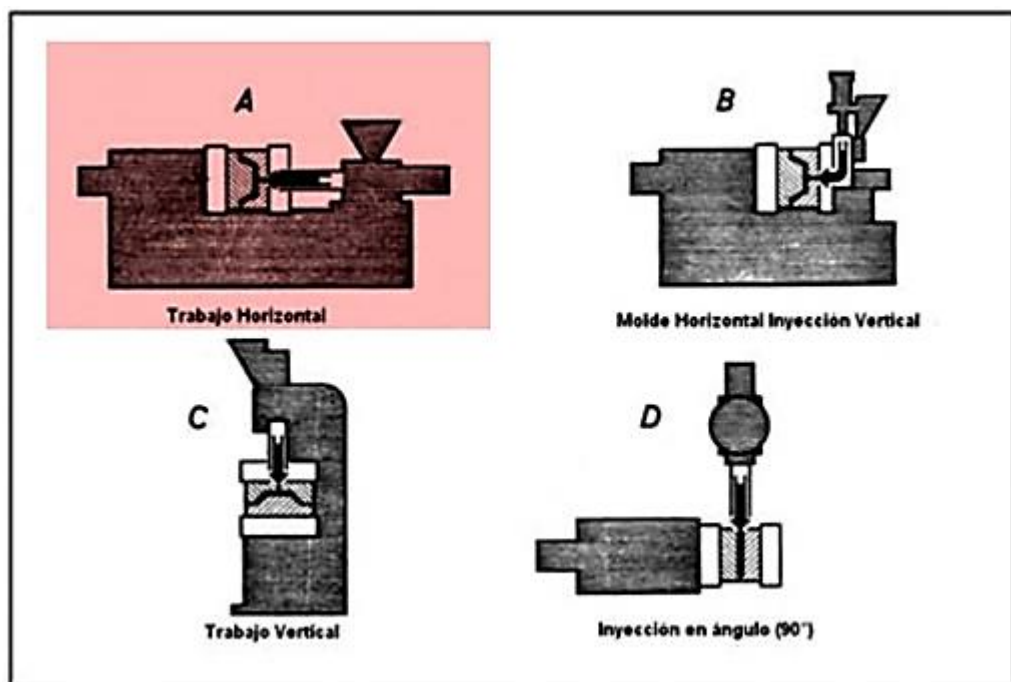


Figura 13.- Tipos de inyectoras

Fuente: [14]

Además de las inyectoras, el polímero de PVC es el material importante para el inyectado de las suelas ya que la mayoría de estas están fabricadas a partir de la solidificación del material polimérico en moldes de aluminio. El polivinilacetato (PVC) es un material que se desliza y posee brillo. Dependiendo de su formulación y aditivos puede ser rígido o flexible, proporcionando resistencia a la mayoría de los reactivos químicos. Tiene buen aislamiento térmico, eléctrico y acústico, además de alta durabilidad y resistencia. [15]

CAPITULO II

METODOLOGÍA

2.1. Materiales y Recursos

2.1.1. Recursos Humanos

- Estudiante de la Universidad Técnica de Ambato
- Gerente propietario empresa “Ingeniería Diseño de Suelas”
- Tutor del proyecto de investigación
- Miembros de la unidad de titulación de la Carrera de Ingeniería Mecánica

2.1.2. Recursos institucionales

- Biblioteca de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica
- Instalaciones de la empresa “Ingeniería Diseño de Suelas”

2.1.3. Recursos materiales

- Ordenador Samsung notebook 4
- Material de oficina
- Calculadora Casio fx-570
- Norma NTP 331

2.1.4. Recursos económicos

Los recursos económicos utilizados para el desarrollo del proyecto técnico se describen en la tabla 6, en donde se especifica el tipo de recurso adquirido, la cantidad y el total a utilizar. Cabe mencionar que los recursos económicos están de acuerdo con

las necesidades del proyecto, por lo que este sujeto a cambios durante el proceso de realización del mismo.

Tabla 6.- Recursos económicos

Descripción	Cantidad	Total
Adquisición de normas	1	\$ 350
Trasporte	1	\$ 80
Material de oficina	1	\$ 200
Uso de internet	1	\$ 70
Calculadora	1	\$ 27
Computador portátil	1	\$ 450
Bibliografías	1	\$ 40
Costos varios (Alimentación, imprevistos)	1	\$ 40
TOTAL		\$ 1257

Fuente: Autor

2.2. Métodos

Para el desarrollo del proyecto de investigación, se identificarán los parámetros de mantenimiento preventivo y predictivo para las máquinas inyectoras que posteriormente serán analizados mediante la distribución de Weibull utilizando las NTP 331 y 679 las cual permitirán determinar la tasa de fallos de estos componentes.

Para la identificación del estado actual de las máquinas inyectoras se procederá a analizar mediante observación y toma de datos así también mediante un estadístico se identificarán las diferentes actividades de mantenimiento realizada, y posteriormente se elaborará una matriz de criterios ponderados AMFE, permitiendo así evaluar las tasas de fallo y las causas y efectos que producen la falla de la maquinaria, acorde con el análisis modal utilizando la NTP 639.

Para la determinación de la fiabilidad que tendrán las inyectoras, se utilizara la normativa NPT 331 en la cual especifica los parámetros indicados para realizar la

distribución de Weibull, además de realizar análisis cuantitativo de los fallos y efectos que se han producido en la maquinaria.

Para la elaboración del plan de mantenimiento se tomarán en consideración las metodologías anteriormente descritas, así como los componentes y las funciones de estos los cuales permitirán realizar un registro de mantenimiento para de esta manera garantizar la organización del plan de mantenimiento.

2.3. Modalidad de la investigación

2.3.1. Investigación aplicada (I)

En el presente proyecto se utilizarán los conocimientos adquiridos durante la todo la carrera universitaria aplicados a la práctica, con la intención de elaborar un plan de mantenimiento centrado en disponibilidad y confiabilidad para las inyectoras de polímero de la empresa “Ingeniería diseño de suelas”, con la finalidad de mejorar las funciones de las inyectoras y reducir las paradas no programadas, ampliando y profundizando los conocimientos adquiridos.

2.3.2. Bibliográfica documental

Se desarrollará y profundizará la búsqueda de información en: revistas, libros, publicaciones científicas, internet, aportes de investigación de cursos, papers científicos, proyectos de investigación y notas técnicas de prevención; con la finalidad de identificar los diversos enfoques, teorías y conclusiones de los diferentes autores, información de suma importancia para determinar los procedimientos adecuados para el desarrollo de la metodología de la investigación.

2.3.3. Investigación de campo

Esta investigación se realizará para estudiar los hechos en el lugar en donde se producen, adquiriendo contacto con la realidad del estado de las máquinas en la empresa “Ingeniería diseño de suelas”, ejecutando el estudio a través de la observación directa de las mismas, obteniendo así la información necesaria para la realización del proyecto.

2.3.4. Recolección de la información

Para la recolección de la información se utilizarán los métodos descritos con anterioridad, los cuales serán a través de la observación directa, análisis estadísticos y datos bibliográficos, papers, revistas científicas y proyectos de titulación.

La observación directa se realizará de cada uno de los sistemas que conforman la inyectora de polímero, utilizando registros y fichas técnicas para documentar los modos y causas de fallas y sus respectivos efectos, teniendo presente los antecedentes determinados por el análisis estadístico con la información recolectada por el jefe de mantenimiento y a las personas encargadas de la inyectora.

2.3.5. Desarrollo del proyecto

- Definición del contexto operacional de la inyectora
- Identificación de los sistemas que componen la inyectora
- Elaboración del análisis de criticidad y jerarquización de los sistemas
- Elaboración del análisis de modos y efectos de fallas de los sistemas
- Ejecución de un plan de mantenimiento para los sistemas críticos
- Elaboración del informe final

A continuación, se presenta el diagrama de flujo que describe el proceso para la realización del trabajo técnico, siguiendo las especificaciones mencionadas con anterioridad e identificando los procesos que nos servirán para llevar a cabo el cumplimiento del plan de mantenimiento.

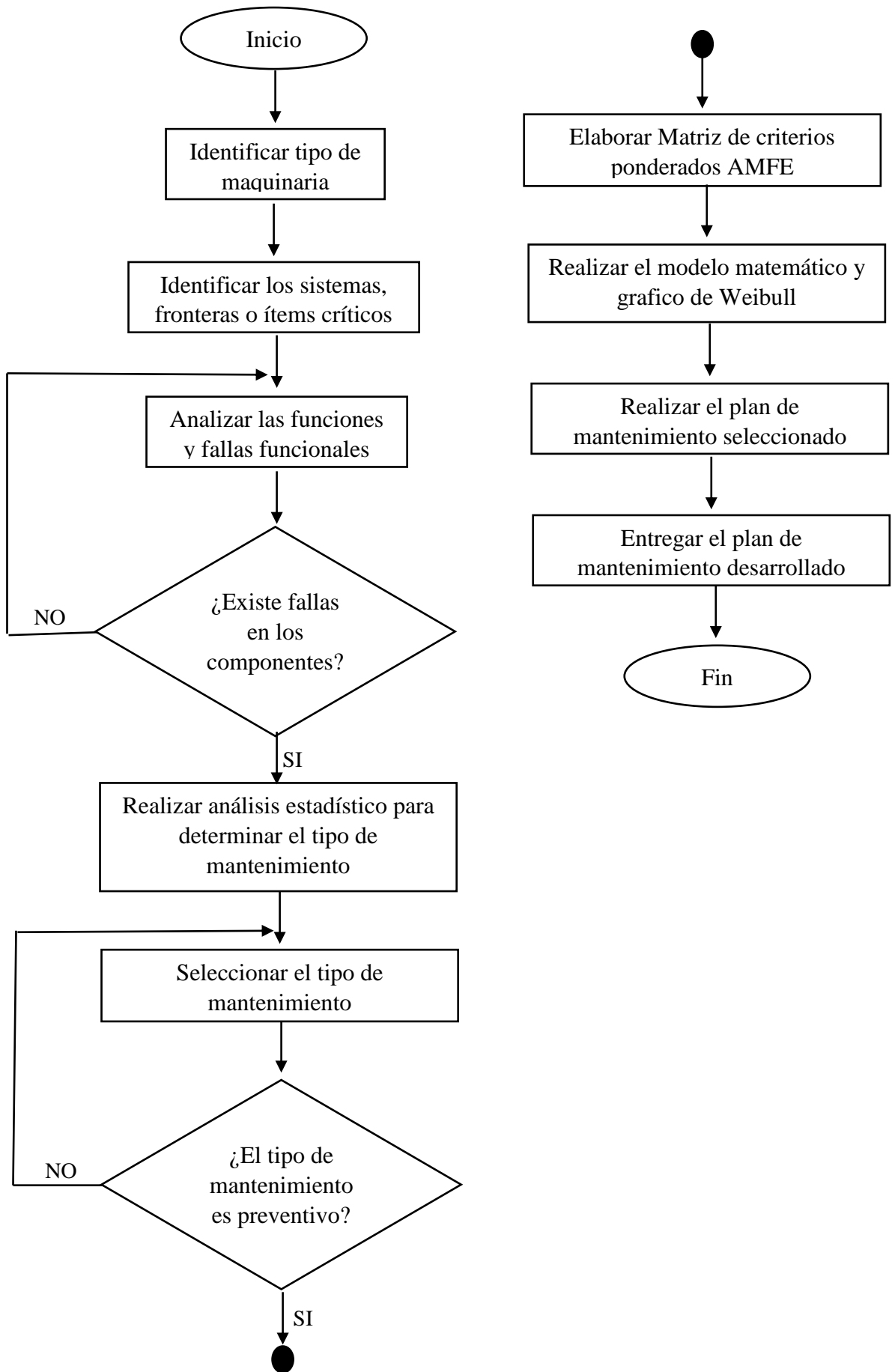


Figura 14.- Proceso de elaboración del plan de mantenimiento

Fuente: Autor

CAPITULO III

DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1. Modelo operativo

3.1.1. Diagnóstico de la situación actual

Para la elaboración del plan de mantenimiento preventivo de las máquinas inyectoras, se partió del análisis del funcionamiento de cada uno de los componente y sistemas con los que cuentan las máquinas, en el cual se evidencio que las máquinas inyectoras llevan un mantenimiento correctivo cada vez que las máquinas sufren una para inesperada. Así también se identificaron que los mantenimientos se realizaban una vez por mes hasta el año 2017 donde se registra actividades mensuales de mantenimiento.

Los aspectos que se tomaran en cuenta para la elaboración del plan de mantenimiento son: la presión de trabajo adecuada para la sujeción de los moldes, la temperatura de a la que se genera el cambio de estado de los polímeros, la humedad presente en el sitio de trabajo, seguridad de la instalación y temperatura (para equipos eléctricos, mecánicos y electrónicos), vibraciones que se puedan presentar en la máquina entre otros, estos aspectos se deberán tomar en consideración para generar las matrices requeridas para el mantenimiento preventivo.

3.1.2. Evaluación externa de la maquinaria:

Las máquinas inyectoras en su mayoría son de marcas europeas, por tal motivo cuentan con los estándares de calidad y planos de diseño, estos planos permitirán realizar la evaluación de los componentes externos de la máquina, sin la necesidad de retirar piezas o realizar operaciones adicionales. dentro de la evaluación externa tenemos el aspecto físico de la maquinaria, fijándonos que en la misma la presencia de suciedad, oxidación u objetos que influyan en las operaciones de inyectado.

Otro aspecto por evaluar es la falta de lubricación o la pérdida de presión, con la finalidad de determinar las cantidades mínimas admisibles para que la máquina funcione correctamente sin peligro a que sufra fallas por falta de lubricanes en los

sistemas mecánicos. Así mismo es indispensable evaluar los sistemas eléctricos, identificando que no se encuentren cables sueltos o en mal estado, para de esta manera evitar cortos circuitos y paradas innecesarias de la máquina durante el proceso de inyectado.

3.1.3. Inventario de máquinas y herramientas:

El inventario de máquinas y herramientas nos permite detallar las misma en un listado organizado de acuerdo con el área de trabajo especificada, de esta manera nos permite llevar un control codificado de cada instrumento de trabajo utilizado en la empresa.

Tabla 7.- Inventario de máquinas y herramientas

		INGENIERÍA DISEÑO DE SUELAS			
		Fabricación de Suelas Ambato - Ecuador			
		<u>INVENTARIO DE MAQUINARIA</u>			
		ELABORADO POR Fernando Freire	FECHA DE ELABORACIÓN 10/02/2019		CÓDIGO IM-MAN-01
REVISADO POR Ing. Christian Castro	FECHA DE REVISIÓN 14/02/2019		VERSIÓN 01		
#	Código	Nombre o Descripción del Equipo o Maquinaria	Cantidad	Modelo	Marca
ÁREA DE INYECTADO					
1	IINY01	Inyectora de Polímero Horizontal	1	2009	Maingroup
2	IINY02	Inyectora de Polímero Horizontal	1	2009	Maingroup
ÁREA DE MATRICERÍA					
3	MAFB01	Afilador de buriles	1	2012	Vertex
4	MESM01	Esmeril	1		Rong Long
5	MTAL01	Taladro de Pedestal	1	2010	Rong Long
6	MESM02	Esmeriladora Angular	1	-	DEWALT
7	MMTL01	Multi tool	1	-	Black+Decker
8	MSAP01	Sistema de Aire Presurizado	1	-	
ÁREA DE TERMINADOS – REFILADO					
9	TREB01	Rebadora	1	-	AnKai

Fuente: Autor

3.1.4. Fichas técnicas:

Las fichas técnicas nos permiten detallar las especificaciones y componentes que se encuentran presentes en las máquinas y herramientas, detallando cada parámetro de

funcionamiento que permita posteriormente realizar un mantenimiento adecuada y verificar periódicamente el buen funcionamiento de estas.

Tabla 8.- Ficha técnica inyectora 1

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA	MÁQUINA	X	EQUIPO
			
Inyectora de Polímero Horizontal			
CARACTERÍSTICAS GENERALES			
MARCA:	Maingroup	FUERZA DE CIERRE DEL MOLDE	1000 kN
MODELO:	SP390	CARRERA DE APERTURA DE LA PRENSA:	250 mm
AÑO:	2014	FRECUENCIA:	60 Hz
PROCEDENCIA:	Italia	POTENCIA:	27 – 57 kW
TIPO:	Inyectora	PESO TOTAL:	11000 Kg (Aprox)
INYECTORES:	2	DIMENSIONES:	1465 x 3330 (mm)
COMPONENTES			
Estructura		Instalación neumática	
Grupo de prensa de palanca acodada con montantes y portamoldes		Instalaciones de lubricación automática	
Armario eléctrico		Instalación hidráulica	
Central oleodinámica con bombas de engranajes		Grupo de inyección	
FUNCIÓN: Máquina utilizada para la inyección de materiales termoplásticos en moldes metálicos bajo presión, con el propósito de fabricar suelas para zapatos.			

Fuente: Autor

Tabla 9.- Ficha técnica inyectora 2

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA	MÁQUINA	X	EQUIPO
			
Inyectora de Polímero Horizontal			
CARACTERÍSTICAS GENERALES			
MARCA:	Maingroup	FUERZA DE CIERRE DEL MOLDE	1000 kN
MODELO:	SP390	CARRERA DE APERTURA DE LA PRENSA:	250 mm
AÑO	2014	FRECUENCIA:	60 Hz
PROCEDENCIA:	Italia	POTENCIA:	27 – 57 kW
TIPO:	Inyectora	PESO TOTAL:	11000 Kg (Aprox)
INYECTORES:	2	DIMENSIONES:	1465 x 3330 (mm)
COMPONENTES			
Estructura		Instalación neumática	
Grupo de prensa de palanca acodada con montantes y portamoldes		Instalaciones de lubricación automática	
Armario eléctrico		Instalación hidráulica	
Central oleodinámica con bombas de engranajes		Grupo de inyección	
FUNCIÓN: Máquina utilizada para la inyección de materiales termoplásticos en moldes metálicos bajo presión, con el propósito de fabricar suelas para zapatos.			

Fuente: Autor

A continuación, se detalla las características principales de las dos máquinas inyectoras y sus parámetros de funcionamiento, así como también la lista de componentes intercambiables se debe adquirir en caso de que el mantenimiento así lo requiera.

3.1.5. Características de la máquina:

- Número de estaciones: 2
- Número de prensas: 2
- Carrera de apertura del molde: 250 mm
- Dimensiones del molde: 1465 x 3330 mm
- Altura máxima del molde: 200 mm
- Inyectores: 2
- Potencia máxima instalada: 27 – 57 Kw
- Motores servicios: 7.5 – 45 Kw
- Motores inyectores: 33 Kw
- Inyectores calefacción: 12 – 14.7 Kw
- Peso neto total: 11000 Kg (aprox)

3.1.6. Condiciones de servicio especificadas:

- Inyectores: 2
- Fuerza de cierre del molde: 1000 kN
- Tensión estándar: 220 v
- Frecuencia: 60 Hz
- Presión nominal del aire comprimido: 8 bares
- Tiempo de inyección: 6 seg por molde
- Rango de temperatura de trabajo de aceite: 40 a 50 °C
- Horas de funcionamiento: 16 Horas
- Número de operadores: 2

3.1.7. Lista de repuestos intercambiabilidad

Tabla 10.- Repuestos intercambiables inyectoras 1 y 2

INYECTORAS		
REPUESTOS	CANTIDAD	Características
Pernos de sujeción de moldes	20	Pernos de ½ in
Resistencias de calentamiento	10	Resistencias de 4500 W
Empaques	1	Permite el sellado entre el acople motor – cilindro
Filtro de aceite	1	Recoge las impurezas que están en suspensión en el aceite
Mangueras de agua	4	Mangueras de 1 in de diámetro
Pernos de sujeción Portamoldes	20	Pernos de 1 in
Controlador de temperatura de aceite	1	Controla el rango de temperatura
Casquillos sintetizados para motores hidráulicos y prensas	4	Se usan como puntos de apoyo para movimientos lineales y rotativos
Cojinete	3	Permite la rotación del eje del motor
Electroválvulas	4	Controlar el paso de un fluido por un conducto o tubería
Filtro de aspiración	2	Se usan para proteger la bomba y evitar cavitación
Intercambiador de calor para enfriar el aceite	1	Diseñado para transferir calor entre dos fluidos
Manómetro alta presión	2	Mide la presión del fluido (agua)
Rodamiento del motor hidráulico	2	Permite la rotación del eje motor
Sensor de posición para prensas	2	Detecta la posición fija del molde antes del inyectado.
Tuberías de agua para el enfriamiento	3 m	Tuberías de acero inoxidable de 1 in
Válvulas	4	Válvulas anti-retorno de fluidos
Termocuplas	4	Sensor de temperatura ubicado en el cilindro de inyección
Acoples de sujeción	2	Permite la fijación de los moldes en el portamoldes
Bridas de fijación	4	Permiten ubicar de forma correcta el molde en los portamoldes

Fuente: Autor

3.1.8. Sistema, subsistema y componentes:

Tabla 11.- Componentes y su función de las inyectoras 1 y 2

Nº	COMPONENTE	FUNCIÓN
1	Mangueras de agua	Trasportar el agua de enfriamiento hacia la máquina
2	Mangueras de aire comprimido	Trasportar el aire presurizado hacia el grupo de inyección
3	Portamoldes	Retener el molde de aluminio en la posición adecuada
4	Armario eléctrico	Llevar a cabo el funcionamiento eléctrico de la máquina
5	Grupo de inyección	Inyectar el material polimérico en los moldes de aluminio
6	Canales de inyección	Trasportar el material polimérico hacia el grupo de inyección
7	Tolvas de alimentación	Almacenar el material polimérico antes de ser fundido
8	Estructura	Mantener los componentes en posición para el funcionamiento de la máquina
9	Pistón	Empujar el portamoldes para sellar los moldes de aluminio
10	Calentadores	Calentar el polímero hasta un estado líquido
11	Motor y engranes del husillo	Realizar el movimiento para que el pistón realice su función
12	Husillo	Trasportar el material polimérico desde las tolvas de alimentación, pasando por los calentadores y llegando a los canales de inyección
13	Válvulas Check	Verificar las presiones tanto de aire como de agua
14	Placas de fijación	Mantener una posición de los moldes
15	Termocuplas	Generar un voltaje muy pequeño del orden de los milivolts el cual aumenta con la temperatura
16	Unidad de enfriamiento de tolvas	Mantener el ducto de alimentación a una temperatura adecuada para el material polimérico fluya adecuadamente
17	Cilindro de pistón	Recubrir el pistón de empuje
18	Barras guías	Realizar el movimiento vertical del portamoldes
19	Unidad de lubricación	Almacenar el aceite para la lubricación de la máquina
20	Panel de control	Llevar el control del funcionamiento tanto de inyección como de levantamiento de portamoldes
21	Electroválvula de control	Abrir y cerrar el portamoldes
22	Electroválvula de control	Mover el inyector hacia adelante o hacia atrás dependiendo de la disposición.
23	Electroválvula de control	Inyectar el material polimérico hacia los moldes de suelas.

N°	COMPONENTE	FUNCIÓN
24	Rodamientos	Permitir la rotación relativa de dichos elementos bajo carga, con precisión y con un rozamiento mínimo.
25	Actuadores hidráulicos	Permitir la rotación relativa de los elementos bajo carga, con precisión y con un rozamiento mínimo en el cierre y la apertura del portamolde.
26	Motor eléctrico	Accionar la bomba de refrigeración.
27	Acople motor – bomba	Permitir realizar el acople para el accionamiento de la bomba mediante un motor eléctrico.
28	Válvulas direccionales	Permitir el paso del flujo refrigerante hacia los distintos sistemas de inyección.
29	Tornillo de fijación	Permitir el ajuste del portamolde para una fijación adecuada.
30	Cilindro de expulsión	Permitir el paso del material polimérico hacia el molde.
31	Microprocesador	Permitir el control automático del proceso de inyección.
32	Filtro de aceite	Recoger las impurezas que están en suspensión en el aceite.
33	Columnas guías	Permitir el desplazamiento del portamoldes para una sujeción adecuada.
34	Bridas de fijación	Permitir el ajuste adecuado de los moldes en el portamoldes.
35	Válvula antirretorno	Controlar el paso del fluido refrigerante sin que este retorne por caída de presión.
36	Tobera	Permitir la salida al material fundido hacia los canales del molde.
37	Servo motor	Permitir el movimiento de las partes móviles del sistema de inyección.
38	Termopares	Informar al microprocesador de la máquina la temperatura existente en las distintas zonas del cilindro.
39	Depósito de aceite	Permitir el almacenamiento del aceite para su disposición final.
40	Anillo de enfriamiento	Permitir disminuir la temperatura del conducto inyector.
41	Cubierta del conducto inyector	Recubrir el husillo y las resistencias que funden el material polimérico.
42	Dosificador	Permitir el paso de la cantidad adecuada de material polimérico hacia el conducto de inyección.
43	Espigas guías	Permitir el acople adecuado del molde hembra y macho en el momento del cierre del portamoldes.
44	Válvulas de alivio	Activar en caso de un flujo excesivo de refrigerante.
45	Válvula reguladora de flujo	Regular el flujo de agua desde la torre de enfriamiento hacia las bombas de la inyectora.

Fuente: Autor

3.1.9. Instrucciones de montaje y funcionamiento:

- Cuando la maquina esté en funcionamiento se debe trabajar en una temperatura ambiente de entre 5 a 40 °C.
- La humedad relativa debe estar entre el 30 a 80 %.
- Se debe asegurar de forma correcta los moldes en sus respectivos sitios.
- Colocar de forma correcta el material termoplástico en las tolvas de inyección.
- El operario deberá tener los equipos de protección adecuados para realizar el trabajo.
- Se debe constatar que la maquina tenga el enfriamiento correcto mediante los tubos de circulación de agua.
- La máquina cuenta con sistemas de aire presurizado los cuales ayudan al desmontaje de los moldes durante la operación. [15]

Instrucción de proceso de inyectado para trabajadores:

- En la prensa se inyecta el primer color.
- A continuación, el molde se desplaza a un puesto lateral para completar el moldeado bicolor.
- Contemporáneamente a esta última fase, se inyecta la parte central el primer color de otro molde ya que se ha realizado el desplazamiento del carro y la rotación del cabezal central.
- A continuación, el carro traslada y vuelve a la posición inicial reiniciando el ciclo.
- La extracción de las piezas acabadas se produce durante las fases de inyección, permitiendo la reducción de muchos tiempos muertos. [15]

3.1.10. Normas de seguridad:

- Utilizar solo repuestos originales y herramientas específicas y en buenas condiciones.
- Respetar los intervalos de intervención o de trabajo de la máquina.

- Eliminar oportunamente las causas de anomalías o mal funcionamiento de los componentes para evitar mayores daños a los equipos y es garantía de seguridad para los operarios.
- Utilizar casco protector, así como también protectores auditivos, overol y guantes para evitar posibles altercados o quemaduras durante la operación.
- Solo personal oportunamente capacitado debe operar en la máquina.
- No se debe utilizar la máquina de manera impropia, es decir, para usos diferentes de los indicados.
- Cuando se realicen intervenciones de mantenimiento, asegurarse que la máquina este apagada.
- Cuando la máquina esté funcionando, no opere en las cercanías con cadenas, pulseras, corbatas, u otra vestimenta que pueda engancharse en los mecanismos.
- Realizar las intervenciones en el cuadro eléctrico, en las cajas de derivación, en los cables y en todos los componentes del sistema eléctricos siempre con el interruptor general apagado.
- Cuando se pone en marcha la máquina, verificar que no haya ninguna persona en las zonas peligrosas.
- Durante las operaciones realizadas en modo manual, preste la máxima atención para evitar daños a cosas o a personas.

Los trabajadores deben:

- Cumplir las disposiciones y las instrucciones impartidas por el empleador, por los dirigentes y por los encargados, para la protección colectiva e individual.
- Utilizar correctamente los equipos, los aparatos, las herramientas, los medios de transporte y los restantes equipos de trabajo, así como los dispositivos de seguridad, para llevar el buen funcionamiento de la máquina sin altercados.
- Utilizar correctamente los equipos de seguridad puestos a su disposición, como guantes, gafas, tapones, zapatos de seguridad y overol.

- Comunicar de inmediato al propietario, al dirigente o al encargado de la seguridad, las deficiencias que se presenten en la máquina.
- Recoger el cabello largo, evitar bufandas u otras indumentarias que puedan engancharse y ser arrastrados por los partes móviles de la máquina. [15]

Los trabajadores no deben:

- Quitar o modificar, sin autorización, los dispositivos de seguridad, de señalización o de control.
- Llevar a cabo por su cuenta operaciones o maniobras que no les incumban, es decir, que puedan comprometer su seguridad o la de las demás operadoras.
- Utilizar pulseras, anillos o cadenas que, al colgar, enganchen en partes en movimiento generando peligro para el operador.
- Trabajar con productos diferentes de los indicados.
- Sustituir o modificar las velocidades de los componentes de la máquina.
- Modificar el ciclo de la máquina.
- Modificar las conexiones eléctricas para excluir los dispositivos de seguridad internos. [15]

3.1.11. Instrucciones de mantenimiento

Algunas recomendaciones de mantenimiento se encuentran presentes en los manuales de funcionamiento de las máquinas, en el caso de las inyectoras de polímero se detallan en las tablas: 12, 13 y 14 las siguientes algunas actividades que permiten realizar el mantenimiento periódico de estas, tomando como referencia lo descrito en el catálogo de la máquina inyectora Maingroup.

Mantenimiento ordinario:

El mantenimiento ordinario programado incluye inspecciones, controles e intervenciones que, para prevenir paradas y averías, mantienen bajo un control sistemático:

- Las condiciones mecánicas de la máquina.

- El estado de lubricación de la máquina. [15]

Mantenimiento extraordinario:

Las intervenciones no comprendidas entre las indicadas en el mantenimiento ordinario deben considerarse de mantenimiento extraordinario, esto si se producen eventos excepcionales, que requieren intervenciones de mantenimiento extraordinario. Este mantenimiento se basa por lo general en la sustitución de componentes de las centrales de la máquina. [15]

A continuación, se presenta la tabla 12 en la cual se especifican, según el catálogo del fabricante, el mantenimiento tanto ordinario como extraordinario que se debe realizar en las máquinas inyectoras:

Tabla 12.- Frecuencias de mantenimiento

Frecuencia de operaciones de mantenimiento	Diarias	Semanales	Quincenales	Mensuales	Semestrales	Anuales
Control de la circulación del agua en el intercambiados				x		
Control de las condiciones de las mangueras de caucho de aspiración de las bombas				x		
Control de la junta motor - bomba						x
Control del nivel de aceite de la central oleodinámica				x		
Control de las condiciones de todos los tubos flexibles del circuito hidráulico					x	
Control de la eficiencia del termostato					x	
Control de la eficiencia del indicador eléctrico de nivel mínimo de aceite					x	
Control de eventuales perdidas de aceite desde los grupos hidráulicos				x		
Controles de eventuales perdidas de aceite en los cilindros de cierre				x		

Frecuencia de operaciones de mantenimiento	Diarias	Semanales	Quincenales	Mensuales	Semestrales	Anuales
Control de los tubos oleodinámicos de los cilindros de cierre				x		
Control del tensado de la cadena de ajuste de la altura de los moldes				x		
Control del paralelismo entre planos móvil y plano fijo				x		
Control de las boquillas de inyección		x				
Control de la alineación boquillas – orificios de inyección en los moldes		x				
Control del buen funcionamiento de los fines de carrera de los inyectores				x		
Control de las zonas de temperatura				x		
Control la estanqueidad de válvulas y juntas de cilindros		x				
Control del nivel de aceite en la copa del aceite de lubricación del aire comprimido		x				
Control de lubricación de la instalación del aire				x		
Control del funcionamiento de los ventiladores				x		
Control del funcionamiento de la instalación de enfriamiento				x		
Control de la eficiencia del dispositivo de seguridad mecánico para el cierre de la prensa					x	

Fuente: Acta de entrega del manual de uso MAINGROUP [15]

Tabla 13.- Frecuencias de operaciones de limpieza de la máquina

Frecuencia de operaciones de limpieza	Diarias	Semanales	Quincenales	Mensuales
Limpieza interna de la central oleodinámica	Cada cambio de aceite			
Limpieza general de la maquina	x			
Limpieza de los moldes	x			
Limpieza de las columnas de las guías anti - rotación		x		
Limpieza de la válvula de inyección	Cuando sea necesario			
Limpieza de las guías de deslizamiento		x		
Limpieza de las tolvas		x		

Fuente: Acta de entrega del manual de uso MAINGROUP [15]

Para llevar un control adecuado de las máquinas y evitar que estas presenten fallas durante el proceso de producción, también se considera importante el control de la lubricación y cambios de aceite que se deben realizar periódicamente en las inyectoras, evitando de esta manera paradas innecesarias y a su vez aumentar la vida útil de sus componentes.

Tabla 14.- Frecuencias de operaciones de lubricación

Frecuencia de operaciones de lubricación	Diarias	Semanales	Quincenales	Mensuales
Engrase de las guías y correderas del tender inferior		x		
Engrase de la cadena de ajuste de la altura de los moldes				x
Engrase de la rosca de las columnas de las prensas				x
Engrase de la palanca acodada (si la maquina no dispone de lubricación automática)		x		

Fuente: Acta de entrega del manual de uso MAINGROUP [15]

3.2. Parámetros utilizados

3.2.1. Estadístico de mantenimiento anual

En este análisis estadístico se determinaron las actividades desarrolladas en el mantenimiento de las máquinas inyectoras durante el año 2017, en los cuales no se tomaron en cuenta los días feriados y fines de semana, así como también se realizó el respectivo cálculo de los parámetros sabiendo que el tiempo de operación de las máquinas inyectoras es de 16 horas debido a la doble jornada laboral presentada en la empresa.

Entre los parámetros calculados se tiene:

MTBF: Tiempo medio entre fallos sucesivos $((T_{O1}+T_{O2}+T_{O_n}) / \sum n)$ siendo n el número de datos

MTTR: Tiempo medio de reparación $((TR_1+TR_2+TR_n) / \sum n)$ siendo n el número de datos

λ : Tasa de fallos (1/MTBF)

μ : Tasa de reparación (1/MTTR)

D: Disponibilidad (Capacidad de un ítem para desarrollar su función durante un determinado período de tiempo $D = MTBF / (MTBF + MTTR)$)

To: Tiempo de operación en horas (Según el uso de la máquina)

TR: Tiempo de reparación en horas (A criterio del encargado de mantenimiento)

TM: Tiempo muerto en horas (A criterio del encargado de mantenimiento)

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

Tabla 15.- Estadístico inyectora 1

MÁQUINA	INYECTORA										
H. TRABAJO	16										
MES	Actividades	Fecha	TO (h)	TR (h)	TM (h)	TP (h)	MTBF (h)	λ	MTTR (h)	μ	D (%)
ENERO	Inicio de Actividades (Nuevo Año)	04/01/2017									
	Control de las boquillas de inyección	13/01/2017	96	2	0.5	2.5	71.83	0.0139	2.67	0.3745	96.42%
	Limpieza general de la maquina (Moldes, guías de deslizamiento, tolvas)	15/01/2017	29.5	5	1	6					
	Control del nivel de aceite de la central oleodinámica	21/01/2017	90	1	0.5	1.5					
FEBRERO	Revisión del dispositivo de seguridad mecánico para el cierre de la prensa	10/02/2017	190.5	3	1	4	101.5	0.0099	2.13	0.4695	97.94%
	Cambio de Termocuplas	12/02/2017	28	1	1	2					
	Revisión de las bombas	18/02/2017	94	2	0.5	2.5					
	Engrase (Rosca de las columnas de las prensas, cadena de ajuste de la altura de los moldes)	26/02/2017	93.5	2.5	0.5	3					
MARZO	Alineación boquillas – orificios de inyección en los moldes	03/03/2017	77	1	1	2	104.17	0.0096	2.5	0.4	97.66%
	Cambio de válvula de inyección	17/03/2017	158	1.5	1	2.5					
	Limpieza general de la maquina (Moldes, guías de deslizamiento, tolvas)	24/03/2017	77.5	5	1	6					
ABRIL	Tensado de la cadena de ajuste de la altura de los moldes	01/04/2017	74	2	1	3	129.67	0.0077	1.67	0.5988	98.73%
	Cambio de Guías de Moldes	14/04/2017	141	1	1	2					
	Cambio de aceite de la central oleodinámica	29/04/2017	174	2	0.5	2.5					
MAYO	Control de las boquillas de inyección	03/05/2017	61.5	2	0.5	2.5	109.33	0.0091	3	0.3333	97.33%
	Revisión Eléctrica	19/05/2017	189.5	2	1	3					
	Limpieza general de la maquina (Moldes, guías de deslizamiento, tolvas)	26/05/2017	77	5	1	6					

MÁQUINA	INYECTORA										
H. TRABAJO	16										
MES	Actividades	Fecha	TO (h)	TR (h)	TM (h)	TP (h)	MTBF (h)	λ	MTTR (h)	μ	D (%)
JUNIO	Control de las boquillas de inyección	03/06/2017	74	2	0.5	2.5	114	0.0088	1.33	0.7519	98.85%
	Control del buen funcionamiento de los fines de carrera de los inyectores	08/06/2017	77.5	1	0.5	1.5					
	Alineación boquillas – orificios de inyección en los moldes	24/06/2017	190.5	1	1	2					
JULIO	Cambio de Termocuplas	15/07/2017	238	1	1	2	198	0.0051	3	0.3333	98.51%
	Limpieza general de la maquina (Moldes, guías de deslizamiento, tolvas)	29/07/2017	158	5	1	6					
AGOSTO	Cambio de Termocuplas	05/08/2017	74	1	1	2	92.5	0.0108	1.67	0.5988	98.23%
	Cambio de aceite de la central oleodinámica	11/08/2017	94	2	0.5	2.5					
	Revisión de las bombas	23/08/2017	109.5	2	0.5	2.5					
SEPTIEMBRE	Tensado de la cadena de ajuste de la altura de los moldes	02/09/2017	125.5	2	1	3	221.25	0.0045	3.5	0.2857	98.44%
	Limpieza general de la maquina (Moldes, guías de deslizamiento, tolvas)	30/09/2017	317	5	1	6					
OCTUBRE	Control de las boquillas de inyección	14/10/2017	154	2	0.5	2.5	115.75	0.0086	2	0.5	98.30%
	Revisión Eléctrica	19/10/2017	77.5	2	1	3					
NOVIEMBRE	Control del buen funcionamiento de los fines de carrera de los inyectores	08/11/2017	205	1	0.5	1.5	205.75	0.0049	3	0.3333	98.56%
	Limpieza general de la maquina (Moldes, guías de deslizamiento, tolvas)	25/11/2017	206.5	5	1	6					
DICIEMBRE	Cambio de Termocuplas	09/12/2017	154	1	1	2	113.83	0.0088	1.5	0.6667	98.70%
	Cambio de aceite de la central oleodinámica	17/12/2017	94	2	0.5	2.5					
TOTALES			4000	73	25.5	98.5	4000	0	73	0.014	98.21%
PROMEDIOS			124.05	2.28	0.8	3.08	124.05	0.008	2.28	0.439	98.20%

Fuente: Autor

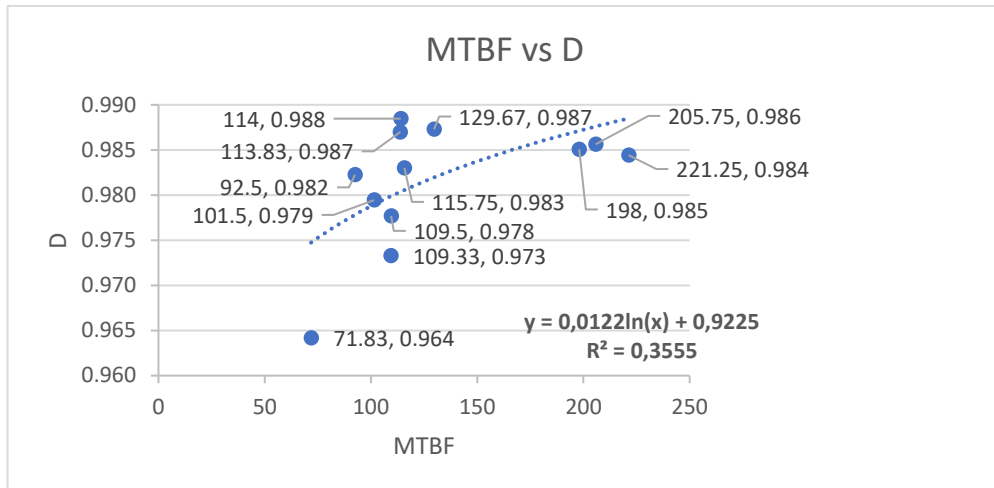


Figura 15.- Gráfica MTBF vs D (inyectora 1)

Fuente: Autor

La figura 14 muestra el punto máximo de disponibilidad con un valor de 0,988 (MTBF= 114 h) y un mínimo de 0,9642 (MTBF= 71,83 h), también, se observa que el tiempo medio entre fallos máximo es de 221,25 h (D=0,984) y el mínimo de 71,83 h (D=0,964). El coeficiente de determinación o de correlación múltiple no se acerca a la unidad debido a que los datos se encuentran dispersos o no tiene una correlación determinada.

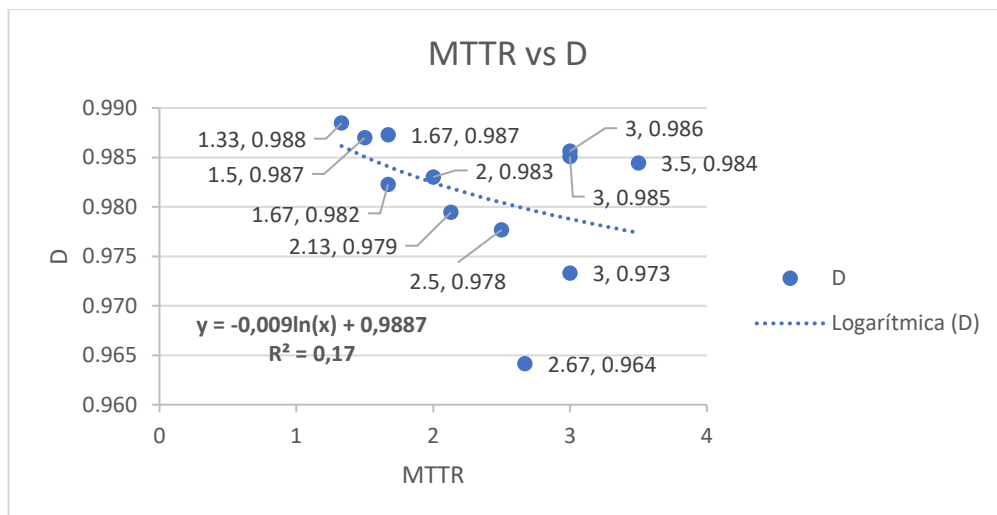


Figura 16.- Gráfico MTTR vs D (inyectora 2)

Fuente: Autor

La figura 15 muestra el punto máximo de disponibilidad con un valor de 0,988 (MTTR= 1,33 h) y un mínimo de 0,9642 (MTTR= 2,67 h), también, se observa que el tiempo medio de reparación máximo es de 3,5 h (D=0,984) y el mínimo de 1,33 h (D=0,988). El coeficiente de determinación o de correlación múltiple no se acerca a la unidad debido a que los datos se encuentran dispersos o no tiene una correlación determinada.

Tabla 16.- Estadístico inyectora 2

MÁQUINA	INYECTORA										
H. TRABAJO	16										
MES	Actividades	Fecha	TO (h)	TR (h)	TM (h)	TP (h)	MTBF (h)	λ	MTTR (h)	μ	D (%)
ENERO	Inicio de Actividades (Nuevo Año)	04/01/2017									
	Control de las boquillas de inyección	13/01/2017	96	2	0.5	2.5	87.83	0.0114	2.67	0.3745	97.05%
	Limpieza general de la maquina (Moldes, guías de deslizamiento, tolvas)	17/01/2017	61.5	5	1	6					
	Control del nivel de aceite de la central oleodinámica	26/01/2017	106	1	0.5	1.5					
FEBRERO	Revisión del dispositivo de seguridad mecánico para el cierre de la prensa	08/02/2017	110.5	3	1	4	81.5	0.0123	2.13	0.4695	97.45%
	Revisión de Termocuplas	19/02/2017	108	1	1	2					
	Revisión de las bombas	22/02/2017	46	2	0.5	2.5					
	Control de eventuales perdidas de aceite desde los grupos hidráulicos	26/02/2017	61.5	2.5	0.5	3					
MARZO	Control de los tubos oleodinámicos de los cilindros de cierre	04/03/2017	93	1	1	2	114.83	0.0087	2.5	0.4	97.87%
	Cambio de válvula de inyección	15/03/2017	110	1.5	1	2.5					
	Limpieza general de la maquina (Moldes, guías de deslizamiento, tolvas)	28/03/2017	141.5	5	1	6					
ABRIL	Revisión de las bombas	02/04/2017	58	2	1	3	124.33	0.008	1.67	0.5988	98.67%
	Control de eventuales perdidas de aceite desde los grupos hidráulicos	12/04/2017	125	1	1	2					
	Cambio de aceite de la central oleodinámica	28/04/2017	190	2	0.5	2.5					
MAYO	Control de las boquillas de inyección	05/05/2017	77.5	2	0.5	2.5	120	0.0083	3	0.3333	97.56%
	Revisión Eléctrica	15/05/2017	125.5	2	1	3					
	Limpieza general de la maquina (Moldes, guías de deslizamiento, tolvas)	29/05/2017	157	5	1	6					

MÁQUINA	INYECTORA										
H. TRABAJO	16										
MES	Actividades	Fecha	TO (h)	TR (h)	TM (h)	TP (h)	MTBF (h)	λ	MTTR (h)	μ	D (%)
JUNIO	Control de las boquillas de inyección	07/06/2017	90	2	0.5	2.5	119.33	0.0084	1.33	0.7519	98.90%
	Control del buen funcionamiento de los fines de carrera de los inyectores	09/06/2017	29.5	1	0.5	1.5					
	Alineación boquillas – orificios de inyección en los moldes	30/06/2017	238.5	1	1	2					
JULIO	Cambio de Termocuplas	10/07/2017	126	1	1	2	150	0.0067	3	0.3333	98.04%
	Limpieza general de la maquina (Moldes, guías de deslizamiento, tolvas)	25/07/2017	174	5	1	6					
AGOSTO	Cambio de Termocuplas	01/08/2017	74	1	1	2	103.17	0.0097	1.67	0.5988	98.41%
	Cambio de aceite de la central oleodinámica	13/08/2017	126	2	0.5	2.5					
	Revisión de las bombas	25/08/2017	109.5	2	0.5	2.5					
SEPTIEMBRE	Control del funcionamiento de la instalación de enfriamiento	06/09/2017	125.5	2	1	3	189.25	0.0053	3.5	0.2857	98.18%
	Limpieza general de la maquina (Moldes, guías de deslizamiento, tolvas)	28/09/2017	253	5	1	6					
OCTUBRE	Control de las boquillas de inyección	10/10/2017	122	2	0.5	2.5	107.75	0.0093	2	0.5	98.18%
	Revisión Eléctrica	16/10/2017	93.5	2	1	3					
NOVIEMBRE	Control del buen funcionamiento de los fines de carrera de los inyectores	09/11/2017	269	1	0.5	1.5	229.75	0.0044	3	0.3333	98.71%
	Limpieza general de la maquina (Moldes, guías de deslizamiento, tolvas)	27/11/2017	190.5	5	1	6					
DICIEMBRE	Cambio de Termocuplas	09/12/2017	122	1	1	2	103.17	0.0097	1.5	0.6667	98.57%
	Cambio de aceite de la central oleodinámica	17/12/2017	94	2	0.5	2.5					
TOTALES			3904	73	25.5	98.5	3904	0	73	0.014	98.16%
PROMEDIOS			121.14	2.28	0.8	3.08	121.14	0.008	2.28	0.439	98.15%

Fuente: Autor

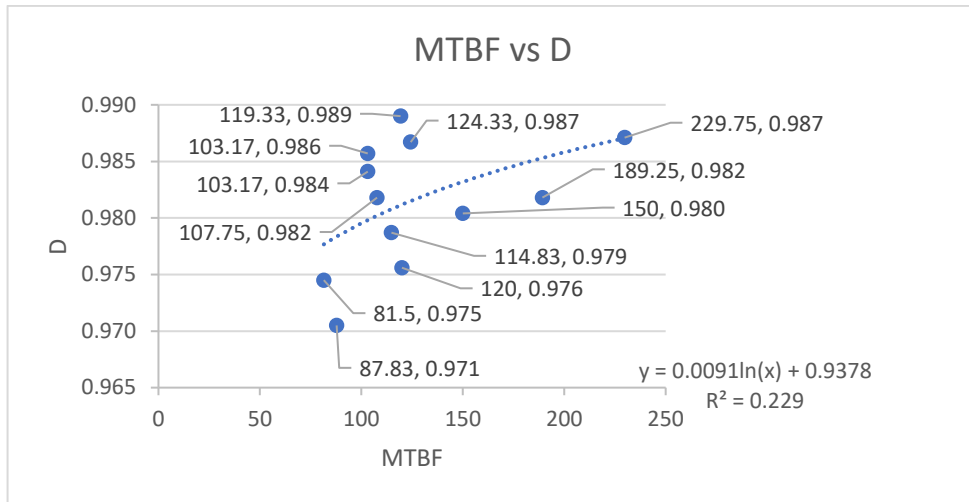


Figura 17.- Gráfica MTBF vs D (inyectora 1)

Fuente: Autor

En la figura 16 se puede observar que el punto máximo de disponibilidad tiene un valor de 0.989 cuando MTBF = 119.33 h, también, se determinó el tiempo medio entre fallos máximo tiene un valor de 229.75 h con una disponibilidad de 0.987 mientras que el mínimo es de 81.5 h con una disponibilidad de 0.975, el coeficiente de correlación múltiple posee un valor de 0.229 debido a que los datos se encuentran dispersos.

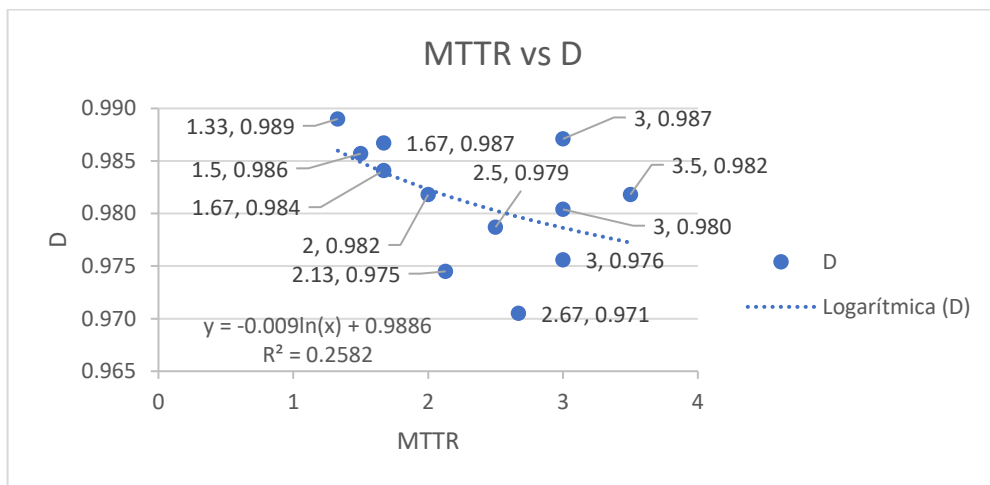


Figura 18.- Gráfica MTTR vs D (inyectora 2)

Fuente: Autor

En la figura 17 se puede observar que el punto máximo de disponibilidad tiene un valor de 0.989 cuando MTBF = 119.33 h, también, se determinó el tiempo medio entre fallos máximo tiene un valor de 229.75 h con una disponibilidad de 0.987 mientras que el mínimo es de 81.5 h con una disponibilidad de 0.975, además se determinó que el coeficiente de correlación múltiple posee un valor de 0.229 que permite identificar que los datos se encuentran dispersos.

3.2.2. Matriz AMFE

Como se detalló posteriormente, la matriz de criterios ponderados AMFE nos permitirá identificar las fallas potenciales del proceso de inyección de polímero, detallando los sistemas y subsistemas con los fallos, modos de fallos y causas raíces que pueden presentarse en los mismo, con la finalidad de llevar a cabo un control de estos fallos.

Tabla 17.- Cuadro AMFE inyectoras 1 y 2

CUADRO AMFE											
Sección:	Inyección		Marca:	MAINGROUP		Fecha Rea:	25/03/2019		Hoja N°:	1	
Equipo:	Inyectora de Polímero Horizontal IINY01 - IINY02		Modelo:	-		Fecha Rev:	31/03/2019		De:	9	
N°	Componente	Función	Falla funcional	Modo de fallo	Causa Raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	NPR	
1	Mangueras de líquido	Transportar el agua de enfriamiento hacia la máquina	Rotura de manguera	Rotura	Degradación por fatiga	Fuga del fluido	3	5	3	45	Verificar que las mangueras no se encuentren dobladas o debajo de objetos pesados
2	Mangueras de aire comprimido	Transportar el aire presurizado hacia el grupo de inyección	Rotura de manguera	Rotura	Desgaste por ambiente corrosivo	Fuga del fluido	3	5	3	45	Verificar que las mangueras no se encuentren dobladas o debajo de objetos pesados
3	Portamoldes	Retener el molde de aluminio en la posición adecuada	Rotura de las placas	Desgaste	Sobrepresión en los moldes	Desalineación del molde	1	5	5	25	Llevar una limpieza adecuada en la zona de trabajo

CUADRO AMFE											
Sección:	Inyección		Marca:	MAINGROUP		Fecha Rea:	25/03/2019		Hoja N°:	1	
Equipo:	Inyectora de Polímero Horizontal IINY01 - IINY02		Modelo:	-		Fecha Rev:	31/03/2019		De:	9	
N°	Componente	Función	Falla funcional	Modo de fallo	Causa Raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	NPR	
4	Armario eléctrico	Llevar a cabo el funcionamiento eléctrico de la máquina	Cables sueltos	Desgaste del recubrimiento	Contactos flojos	Choques eléctricos y recalentamiento	5	5	5	125	Llevar un control adecuado del sistema eléctrico y del estado de los cables
5	Grupo de inyección	Inyectar el material polimérico en los moldes de aluminio	Daño en las compuertas	Aumento de intensidad de corriente	Variación de energía	Compuertas atascadas	1	3	5	15	Comprobar las instalaciones eléctricas en el control de la puerta de inyección
6	Canales de inyección	Transportar el material polimérico hacia el grupo de inyección	Canales tapados	Taponamiento	Material polimérico solidificado en el canal	Moldes de suela defectuosos	5	7	3	105	Realizar la limpieza en los canales de inyección
7	Tolvas de alimentación	Almacenar el material polimérico antes de ser fundido	Fisuras en las tolvas	Desgaste	Corrosión de la tolva	Puede haber fugas del material polimérico	3	2	5	30	Limpieza adecuada contra corrosión en las tolvas
8	Estructura	Mantener los componentes en posición para el funcionamiento de la máquina	Fisuras y oxidación	Desgaste	Corrosión	Desgaste de las placas de la estructura	2	3	3	18	Limpieza de la estructura con materiales adecuados
9	Pistón	Empujar el Portamoldes para sellar los moldes de aluminio	Pistón atascado	Taponamiento	Exceso de material polimérico	Impide el movimiento del material polimérico	1	4	8	32	Limpieza periódica del exceso de material

CUADRO AMFE											
Sección:	Inyección		Marca:	MAINGROUP		Fecha Rea:	25/03/2019		Hoja N°:	1	
Equipo:	Inyectora de Polímero Horizontal IINY01 - IINY02		Modelo:	-		Fecha Rev:	31/03/2019		De:	9	
N°	Componente	Función	Falla funcional	Modo de fallo	Causa Raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	NPR	
10	Calentadores	Calentar el polímero hasta un estado líquido	Temperaturas bajas de inyección	No calentamiento	Sobrecalentamiento	El material polimérico no se funde	5	4	5	100	Cambiar las resistencias
11	Motor y engranes del husillo	Realizar el movimiento para que el pistón realice su función	Desgaste en los engranes	Desgaste	Fricción	Vibraciones en la máquina	2	3	3	18	Lubricar el pistón con lubricantes adecuados
12	Husillo	Transportar el material polimérico desde las tolvas de alimentación	El husillo no gira	Atascamiento	Material polimérico solidificado	El material no avanza hacia los calentadores	1	2	3	6	Limpieza del husillo periódicamente
13	Válvulas Check	Verificar las presiones tanto de aire como de agua	Deja circular el fluido sin control	Desajuste	Mala manipulación	No queda cebado el sistema	1	2	2	4	Llevar una manipulación adecuada de las válvulas
14	Placas de fijación	Mantener en posición los moldes	Desgaste en los orificios de fijación de los moldes	Desgaste	Rosca aislada	Moldes mal ajustados	6	5	5	150	Limpieza adecuada de las placas para evitar oxidación
15	Termocuplas	Generar un voltaje muy pequeño el cual aumenta con la temperatura	Daño en el sensor	Suciedad	Suciedad en los sensores de la termocupla	No mide la temperatura adecuadamente	2	2	5	20	Limpieza de las termocuplas periódicamente

CUADRO AMFE											
Sección:	Inyección		Marca:	MAINGROUP		Fecha Rea:	25/03/2019		Hoja N°:	1	
Equipo:	Inyectora de Polímero Horizontal IINY01 - IINY02		Modelo:	-		Fecha Rev:	31/03/2019		De:	9	
N°	Componente	Función	Falla funcional	Modo de fallo	Causa Raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	NPR	
16	Unidad de enfriamiento de tolvas	Mantener el ducto de alimentación a una temperatura adecuada	Fugas de agua	Desgaste	Picaduras por corrosión	Derrame de agua en la maquinaria	2	2	5	20	Control adecuado del estado de las unidades de enfriamiento
17	Cilindro de pistón	Recubrir el pistón de empuje	Rotura	Desgaste	Fricción de los componentes	Fugas del material fundido	1	5	5	25	Lubricar los componentes de las máquinas
18	Barras guías	Realizar el movimiento vertical del Portamoldes	Dificultad al bajar el Portamoldes	Fricción	Falta de lubricación	Atascamiento de los Portamoldes	3	3	3	27	Llevar una lubricación en las barras para evitar atascamientos
19	Unidad de lubricación	Almacenar el aceite para la lubricación de la máquina	No lubrica	Mal mantenimiento	Falta de lubricante en la zona	Desgaste de los componentes	2	2	7	28	Control adecuado del aceite de lubricación
20	Panel de control	Llevar el control del funcionamiento de la inyectora	Inyectado del polímero de manera incorrecta	Mal mantenimiento	Cables y controladores defectuosos	Mal control del proceso de inyectado	1	5	7	35	Revisar las conexiones eléctricas del panel

CUADRO AMFE											
Sección:	Inyección		Marca:	MAINGROUP		Fecha Rea:	25/03/2019		Hoja N°:	1	
Equipo:	Inyectora de Polímero Horizontal IINY01 - IINY02		Modelo:	-		Fecha Rev:	31/03/2019		De:	9	
N°	Componente	Función	Falla funcional	Modo de fallo	Causa Raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	NPR	
21	Electroválvula de control	Abrir y cerrar el portamoldes	Dificultad al abrir y cerrar el portamoldes	Mal mantenimiento	Presencia de impurezas	Portamoldes atascado	2	8	4	64	Revisión periódica del sistema
22	Electroválvula de control	Mover el inyector hacia adelante o hacia atrás	Dificultad para mover el inyector	Mal mantenimiento	Presencia de impurezas	Inyector atascado	2	6	9	108	Revisión periódica del sistema
23	Electroválvula de control	Inyectar el material polimérico hacia los moldes de suelas	No inyecta el material polimérico	Mal mantenimiento	Presencia de impurezas	Inyección insuficiente	2	5	8	80	Revisión periódica del sistema
24	Rodamientos	Permitir la rotación relativa de elementos bajo carga	Impedimento del movimiento	Lubricación deficiente	Falta de lubricante	Ruido y rozamiento	2	6	3	36	Revisión periódica del sistema
25	Actuadores hidráulicos	Permitir la rotación relativa de los elementos en el cierre y la apertura del portamolde	Apertura y cierre del portamolde defectuoso	Mal mantenimiento	Falta de lubricante	Portamolde atascado	2	3	8	48	Revisar periódicamente los actuadores para evitar altercados durante la inyección

CUADRO AMFE											
Sección:	Inyección	Marca:	MAINGROUP		Fecha Rea:	25/03/2019		Hoja N°:	1		
Equipo:	Inyectora de Polímero Horizontal IINY01 - IINY02	Modelo:	-		Fecha Rev:	31/03/2019		De:	9		
N°	Componente	Función	Falla funcional	Modo de fallo	Causa Raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	NPR	
26	Motor eléctrico	Accionar la bomba de refrigeración	No enciende	Desconectado	Cables en mal estado	No activa las bombas refrigerantes	2	4	2	16	Revisión periódica del motor
27	Acople motor – bomba	Permitir realizar el acople motor – bomba	Bomba inactiva	Ruptura	Ruptura del acople	No activa el sistema refrigerante	2	4	1	8	Identificar el estado del acople semestralmente
28	Válvulas direccionales	Permitir el paso del flujo refrigerante	Refrigeración deficiente	Ruptura	Ruptura de la válvula	Dispersión del líquido refrigerante	1	4	4	16	Revisión y limpieza de las válvulas
29	Tornillo de fijación	Permitir el ajuste del portamolde	Desbalanceo del portamoldes	Desgaste	Desgaste del tornillo	Vibración del portamoldes	3	2	4	24	Revisión y lubricación del tornillo
30	Cilindro de expulsión	Permitir el paso del material polimérico hacia el molde.	Solidificación del material polimérico	Atascamiento	Temperaturas de fundición bajas	Mal inyectado de las suelas	8	5	6	240	Limpieza del cilindro diariamente
31	Microprocesador	Permitir el control automático del proceso de inyección	Congelación del sistema operativo	Colapso del sistema	Sobre proceso de tareas	Controles de inyección deficientes	1	8	4	32	Restaurar el sistema operativo

CUADRO AMFE											
Sección:	Inyección		Marca:	MAINGROUP		Fecha Rea:	25/03/2019		Hoja N°:	1	
Equipo:	Inyectora de Polímero Horizontal IINY01 - IINY02		Modelo:	-		Fecha Rev:	31/03/2019		De:	9	
N°	Componente	Función	Falla funcional	Modo de fallo	Causa Raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	NPR	
32	Filtro de aceite	Recoger las impurezas en el aceite	Atascamiento de las impurezas	Atascamiento	Presencia de impurezas	Disminución de lubricante en los componentes	8	2	2	32	Cambio del filtro periódicamente
33	Columnas guías	Permitir el desplazamiento del portamoldes	Presencia de rozamiento excesivo	Falta de lubricación	Lubricación deficiente	Desgaste en las columnas	2	2	7	28	Lubricación periódica del componente
34	Bridas de fijación	Permitir el ajuste adecuado de los moldes	Ausencia de bridas en el molde	Ruptura	Desgaste del componente	Desalineación del molde	2	2	7	28	Mantenimiento del molde cada mes
35	Válvula antirretorno	Controlar el paso del fluido refrigerante.	Refrigeración deficiente	Ruptura	Ruptura de la válvula	Retorno del fluido refrigerante	1	4	4	16	Revisión y limpieza de las válvulas
36	Tobera	Permite la salida al material fundido hacia los canales del molde	Solidificación del material polimérico	Atascamiento	Temperaturas de fundición bajas	Mal inyectado de las suelas	6	4	6	144	Limpieza de la tobera periódicamente
37	Servo motor	Permitir el movimiento de las partes móviles	Movimiento de apertura y cierre deficientes	Desgaste	Desgaste de los mecanismos del servo	Mal cierre del portamoldes	2	4	5	40	Revisión periódica del componente

CUADRO AMFE											
Sección:	Inyección		Marca:	MAINGROUP		Fecha Rea:	25/03/2019		Hoja N°:	1	
Equipo:	Inyectora de Polímero Horizontal IINY01 - IINY02		Modelo:	-		Fecha Rev:	31/03/2019		De:	9	
N°	Componente	Función	Falla funcional	Modo de fallo	Causa Raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	NPR	
38	Termopares	Informar al microprocesador la temperatura del cilindro.	No mide la temperatura	Desconexión	Sobrecalentamiento del componente	Envió de información defectuosa	2	4	4	32	Verificar que el dispositivo este en óptimas condiciones
39	Depósito de aceite	Permitir el almacenamiento del aceite	Presencia de aceite en el piso	Ruptura	Ruptura del deposito	Piso resbaloso	1	2	1	2	Verificar el depósito periódicamente
40	Anillo de enfriamiento	Permitir la disminución de la temperatura	Enfriamiento eficiente	Mal mantenimiento	Ruptura del componente	Sobrecalentamiento del sistema	1	8	7	56	Mantenimiento periódico del componente
41	Cubierta del conducto inyector	Recubrir el husillo y las resistencias	Presencia de impurezas	Ruptura	Oxidación del componente	Mezcla entre las impurezas y el material fundido	1	7	8	56	Verificación visual del componente periódicamente
42	Dosificador	Permitir el paso del material polimérico	Exceso de material polimérico	Ruptura	Desgaste del componente	Atascamiento del cilindro inyector	1	7	7	49	Revisión periódica del sistema
43	Espigas guías	Permitir el acople adecuado del molde hembra y macho.	Ausencia de espigas en el molde	Ruptura	Desgaste del componente	Desalineación del molde	2	2	7	28	Revisar después de cada inyectado o después del uso final del molde

CUADRO AMFE											
Sección:	Inyección	Marca:	MAINGROUP		Fecha Rea:	25/03/2019		Hoja N°:	1		
Equipo:	Inyectora de Polímero Horizontal IINY01 - IINY02	Modelo:	-		Fecha Rev:	31/03/2019		De:	9		
N°	Componente	Función	Falla funcional	Modo de fallo	Causa Raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	NPR	
44	Válvulas de alivio	Activar en caso de un flujo excesivo de refrigerante.	Sobrepresión en el conducto refrigerante	Ruptura	Desgaste del componente	Mala refrigeración de los sistemas de inyección	3	4	3	36	Revisión periódica del componente
45	Válvula reguladora de flujo	Regular el flujo de agua desde la torre de enfriamiento	Presencia de cavitación en la bomba	Ruptura	Mal mantenimiento	Daño en la bomba hidráulica	5	6	4	120	Revisión periódica del componente
Promedio										49	

Fuente: Autor

3.3. Determinación de la fiabilidad mediante el modelo matemático y grafico de Weibull.

3.3.1. Modelo matemático de Weibull

3.3.1.1. Modelo matemático inyectora 1

A partir de las actividades descritas en la tabla 15 (estadístico inyectora 1) y sabiendo que por cada actividad se encontró una falla, se procede a calcular los parámetros correspondientes para la determinación de la fiabilidad y la in fiabilidad (probabilidad de fallo) para cada inyectora, utilizando las ecuaciones: 4, 5, 6, 7 y 8.

Tabla 18.- Datos estadísticos inyectora 1

Actividad	N° de Falla	To (h)	ln(t)
1	1	96.0	4.5643
2	1	29.5	3.3844
3	1	90.0	4.4998
4	1	190.5	5.2497
5	1	28.0	3.3322
6	1	94.0	4.5433
7	1	93.5	4.538
8	1	77.0	4.3438
9	1	158.0	5.0626
10	1	77.5	4.3503
11	1	74.0	4.3041
12	1	141.0	4.9488
13	1	174.0	5.1591
14	1	61.5	4.119
15	1	189.5	5.2444
16	1	77.0	4.3438
17	1	74.0	4.3041
18	1	77.5	4.3503
19	1	190.5	5.2497
20	1	238.0	5.4723
21	1	158.0	5.0626
22	1	74.0	4.3041
23	1	94.0	4.5433
24	1	109.5	4.6959
25	1	125.5	4.8323
26	1	317.0	5.7589

Actividad	N° de Falla	To (h)	ln(t)
27	1	154.0	5.037
28	1	77.5	4.3503
29	1	205.0	5.323
30	1	206.5	5.3303
31	1	154.0	5.037
32	1	94.0	4.5433
33	1	93.5	4.538
	$\Sigma = 33$		$\Sigma = 154.72$

Fuente: Autor

Con la tabla anterior se calculó sumatoria del ln (To) para posteriormente obtener el valor de la media:

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

$$\bar{x} = \frac{144.72}{33}$$

$$\bar{x} = 4.6885$$

Posteriormente calculamos la varianza a partir de la media obtenida con los datos que se expresan en la tabla 19:

Tabla 19.- Calculo de parámetros requeridos inyectora 1

Actividad	N° de Falla	To (h)	ln(t)	(ln(t)-X) ^2
1	1	96.0	4.5643	0.0154
2	1	29.5	3.3844	1.7007
3	1	90.0	4.4998	0.0356
4	1	190.5	5.2497	0.3149
5	1	28.0	3.3322	1.8395
6	1	94.0	4.5433	0.0211
7	1	93.5	4.538	0.0227
8	1	77.0	4.3438	0.1188
9	1	158.0	5.0626	0.14
10	1	77.5	4.3503	0.1144
11	1	74.0	4.3041	0.1478
12	1	141.0	4.9488	0.0678
13	1	174.0	5.1591	0.2215

Actividad	N° de Falla	To (h)	ln(t)	(ln(t)-X) ^2
14	1	61.5	4.119	0.3243
15	1	189.5	5.2444	0.309
16	1	77.0	4.3438	0.1188
17	1	74.0	4.3041	0.1478
18	1	77.5	4.3503	0.1144
19	1	190.5	5.2497	0.3149
20	1	238.0	5.4723	0.6143
21	1	158.0	5.0626	0.14
22	1	74.0	4.3041	0.1478
23	1	94.0	4.5433	0.0211
24	1	109.5	4.6959	0.0001
25	1	125.5	4.8323	0.0207
26	1	317.0	5.7589	1.1458
27	1	154.0	5.037	0.1215
28	1	77.5	4.3503	0.1144
29	1	205.0	5.323	0.4026
30	1	206.5	5.3303	0.4119
31	1	154.0	5.037	0.1215
32	1	94.0	4.5433	0.0211
33	1	93.5	4.538	0.0227
	$\Sigma = 33$		$\Sigma = 154.72$	$\Sigma = 9.3949$

Fuente: Autor

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

$$S^2 = \frac{9.3949}{(33 - 1)}$$

$$S^2 = 2.7583$$

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

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

$$S = \sqrt{2.7583^2}$$

$$S = 1.6608$$

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

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

$$\beta = \frac{\pi}{1.6608\sqrt{6}}$$

$$\beta = 0.7722$$

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

$$\alpha = \exp\left(4.6885 + \left(\frac{0.5772}{0.7722}\right)\right)$$

$$\alpha = 229.5165$$

Tabla 20.- Parámetros iniciales de la inyectora 1

CALCULO DE PARÁMETROS	
MEDIA (X)	4.6885
VARIANZA (S²)	2.7583
DESVIACIÓN (S)	1.6608
BETA (β)	0.7722
ALPHA (α)	229.5165
GAMA (γ)	0

Fuente: Autor

Una vez determinado los parámetros iniciales con las ecuaciones 3 a la 7, se procede a calcular con las ecuaciones 1 y 2 la fiabilidad y la infiabilidad de Weibull:

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t_0 - \gamma}{\alpha}\right)^{\frac{1}{\beta}}\right]$$

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{96 - 0}{229.5165}\right)^{\frac{1}{0.7722}}\right]$$

$$R(t) = 0.7237 = 72.37 \%$$

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

$$F(t) = 1 - 0.7237$$

$$F(t) = 0.2763 = 27.63 \%$$

Cabe recalcar que estos dos datos calculados pertenecen al primer dato estadístico de la tabla 15, los demás datos calculados se presentan a continuación en la tabla 21:

Tabla 21.- Cálculo de Fiabilidad de Weibull inyectora 1

Inyectora de Polímero N°1							
Actividad	To (h)	ln(t)	(ln(t)-X) ^2	R(t)	R(t) %	F(t)	F(t) %
1	96.0	4.5643	0.0154	0.7237	72.37	0.2763	27.63
2	29.5	3.3844	1.7007	0.9322	93.22	0.0678	6.78
3	90.0	4.4998	0.0356	0.7427	74.27	0.2573	25.73
4	190.5	5.2497	0.3149	0.4558	45.58	0.5442	54.42
5	28.0	3.3322	1.8395	0.9365	93.65	0.0635	6.35
6	94.0	4.5433	0.0211	0.73	73	0.27	27
7	93.5	4.538	0.0227	0.7316	73.16	0.2684	26.84
8	77.0	4.3438	0.1188	0.7842	78.42	0.2158	21.58
9	158.0	5.0626	0.14	0.5398	53.98	0.4602	46.02
10	77.5	4.3503	0.1144	0.7826	78.26	0.2174	21.74
11	74.0	4.3041	0.1478	0.7938	79.38	0.2062	20.62
12	141.0	4.9488	0.0678	0.5874	58.74	0.4126	41.26
13	174.0	5.1591	0.2215	0.4973	49.73	0.5027	50.27
14	61.5	4.119	0.3243	0.8339	83.39	0.1661	16.61
15	189.5	5.2444	0.309	0.4583	45.83	0.5417	54.17
16	77.0	4.3438	0.1188	0.7842	78.42	0.2158	21.58
17	74.0	4.3041	0.1478	0.7938	79.38	0.2062	20.62
18	77.5	4.3503	0.1144	0.7826	78.26	0.2174	21.74
19	190.5	5.2497	0.3149	0.4558	45.58	0.5442	54.42
20	238.0	5.4723	0.6143	0.3506	35.06	0.6494	64.94
21	158.0	5.0626	0.14	0.5398	53.98	0.4602	46.02
22	74.0	4.3041	0.1478	0.7938	79.38	0.2062	20.62
23	94.0	4.5433	0.0211	0.73	73	0.27	27
24	109.5	4.6959	0.0001	0.6815	68.15	0.3185	31.85
25	125.5	4.8323	0.0207	0.6328	63.28	0.3672	36.72
26	317.0	5.7589	1.1458	0.2189	21.89	0.7811	78.11
27	154.0	5.037	0.1215	0.5508	55.08	0.4492	44.92
28	77.5	4.3503	0.1144	0.7826	78.26	0.2174	21.74
29	205.0	5.323	0.4026	0.4215	42.15	0.5785	57.85
30	206.5	5.3303	0.4119	0.4181	41.81	0.5819	58.19
31	154.0	5.037	0.1215	0.5508	55.08	0.4492	44.92
32	94.0	4.5433	0.0211	0.73	73	0.27	27
33	93.5	4.538	0.0227	0.7316	73.16	0.2684	26.84

Fuente: Autor

Con los datos obtenidos en la tabla procedemos a realizar los gráficos Fiabilidad $R(t)$ vs Tiempo de operación TO e Infiabilidad $F(t)$ vs Tiempo de operación TO, respectivamente:

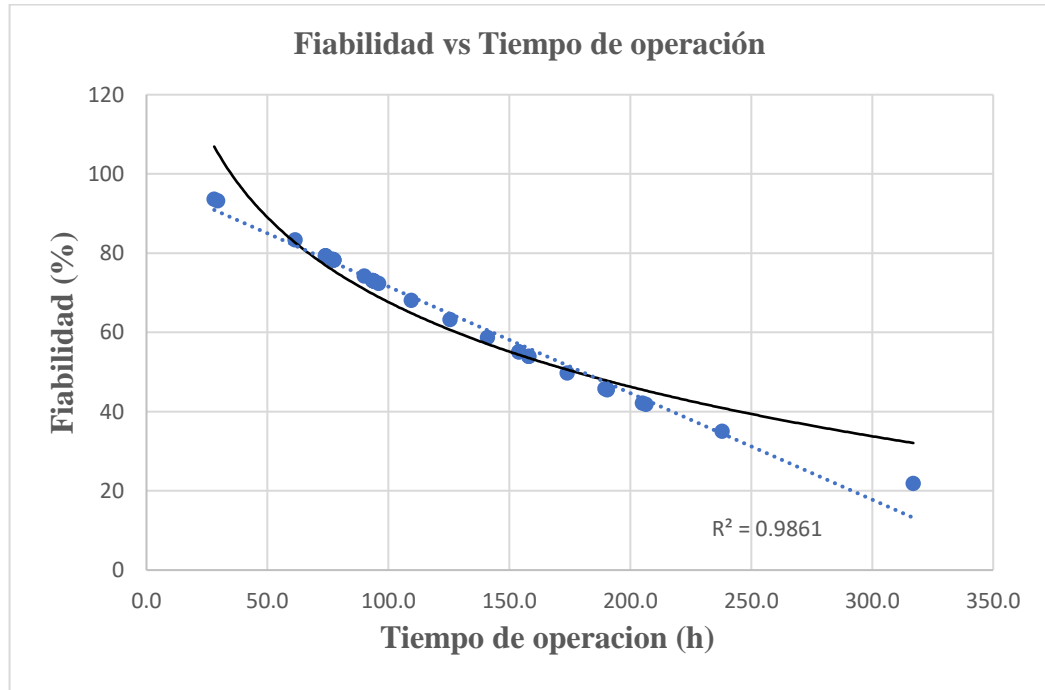


Figura 19.- Gráfica Fiabilidad de Weibull inyectora 1
Fuente: Autor

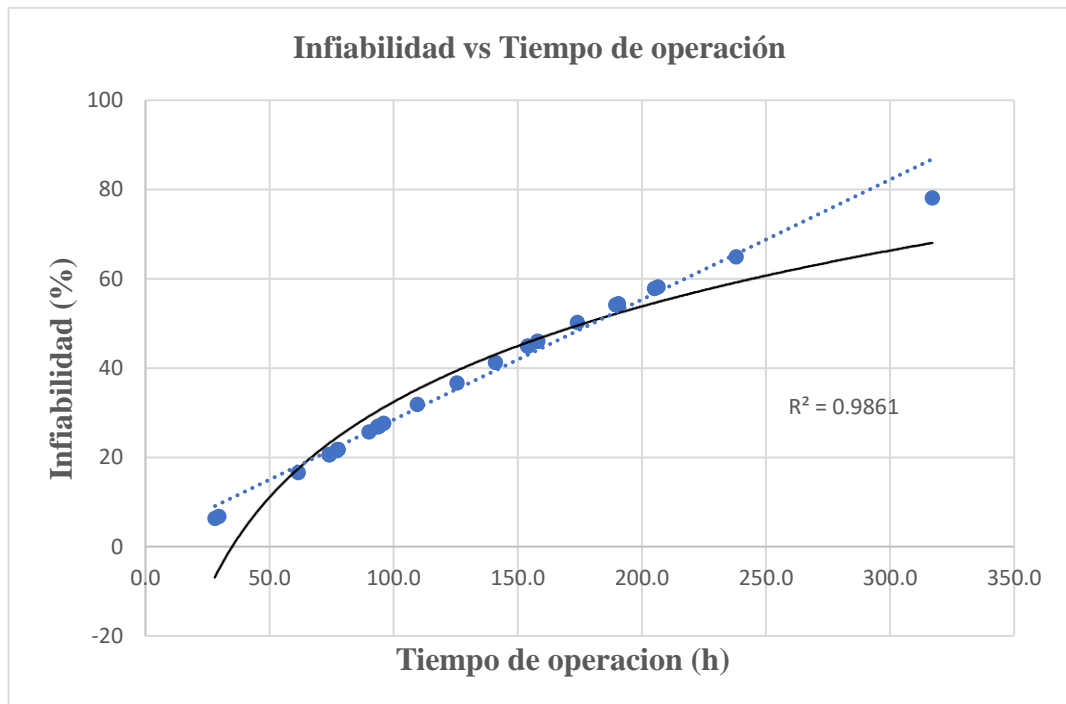


Figura 20.- Gráfica Infiabilidad de Weibull inyectora 1
Fuente: Autor

De las gráficas obtenidas se puede concluir:

- Se puede identificar en la gráfica de fiabilidad (figura 18) que los datos se encuentran correlacionados de forma que describen una trayectoria o tendencia logarítmica.
- El coeficiente de correlación múltiple es cercano a 1 ($R = 0.9861$), esto quiere decir que los datos se encuentran correlacionados en una tendencia logarítmica permitiendo así describir una curva de fiabilidad adecuada para el análisis de disponibilidad.
- El porcentaje de fiabilidad máximo posee un valor de 93.65 % con un tiempo de operación de 28 h.
- El porcentaje de fiabilidad mínimo posee un valor de 21.89 % correspondiente a un tiempo de operación de 317 h.
- De las gráficas se puede deducir que a mayor tiempo de operación la fiabilidad de los componentes es menor debido al desgaste y fallas que pueden presentar.
- Mediante la gráfica se puede identificar que la inyectora 1 se encuentra en la zona de mantenimiento infantil, esto explica que la tasa de fallos sea decreciente.

3.3.1.2. Modelo matemático inyectora 2

Para el cálculo del modelo matemático de Weibull en la inyectora 2 se tomó en consideración las mismas ecuaciones (Ec 4, 5, 6, 7 y 8) y las actividades descritas en la tabla 16, sabiendo que por cada actividad se encontró una falla, obteniendo así los parámetros iniciales siguientes:

Tabla 22.- Datos estadísticos inyectora 2

Actividad	N° de Falla	TO (h)	ln(t)
1	1	96.0	4.5643
2	1	61.5	4.119
3	1	106.0	4.6634
4	1	110.5	4.705
5	1	108.0	4.6821
6	1	46.0	3.8286
7	1	61.5	4.119
8	1	93.0	4.5326
9	1	110.0	4.7005

Actividad	N° de Falla	TO (h)	ln(t)
10	1	141.5	4.9523
11	1	58.0	4.0604
12	1	125.0	4.8283
13	1	190.0	5.247
14	1	77.5	4.3503
15	1	125.5	4.8323
16	1	157.0	5.0562
17	1	90.0	4.4998
18	1	29.5	3.3844
19	1	238.5	5.4744
20	1	126.0	4.8363
21	1	174.0	5.1591
22	1	74.0	4.3041
23	1	126.0	4.8363
24	1	109.5	4.6959
25	1	125.5	4.8323
26	1	253.0	5.5334
27	1	122.0	4.804
28	1	93.5	4.538
29	1	269.0	5.5947
30	1	190.5	5.2497
31	1	122.0	4.804
32	1	94.0	4.5433
33	1	93.5	4.538
	$\Sigma = 33$		$\Sigma = 154.869$

Fuente: Autor

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

$$\bar{x} = \frac{154.869}{33}$$

$$\bar{x} = 4.693$$

Posteriormente calculamos la varianza a partir de la media obtenida con los datos que se expresan en la tabla 23:

Tabla 23.- Calculo de parámetros requeridos inyectora 2

Actividad	N° de Falla	TO (h)	ln(t)	(ln(t)-X) ^2
1	1	96.0	4.5643	0.0166
2	1	61.5	4.119	0.3295
3	1	106.0	4.6634	0.0009
4	1	110.5	4.705	0.0001
5	1	108.0	4.6821	0.0001
6	1	46.0	3.8286	0.7472
7	1	61.5	4.119	0.3295
8	1	93.0	4.5326	0.0257
9	1	110.0	4.7005	0.0001
10	1	141.5	4.9523	0.0672
11	1	58.0	4.0604	0.4002
12	1	125.0	4.8283	0.0183
13	1	190.0	5.247	0.3069
14	1	77.5	4.3503	0.1174
15	1	125.5	4.8323	0.0194
16	1	157.0	5.0562	0.1319
17	1	90.0	4.4998	0.0373
18	1	29.5	3.3844	1.7124
19	1	238.5	5.4744	0.6106
20	1	126.0	4.8363	0.0205
21	1	174.0	5.1591	0.2172
22	1	74.0	4.3041	0.1512
23	1	126.0	4.8363	0.0205
24	1	109.5	4.6959	0
25	1	125.5	4.8323	0.0194
26	1	253.0	5.5334	0.7063
27	1	122.0	4.804	0.0123
28	1	93.5	4.538	0.024
29	1	269.0	5.5947	0.8131
30	1	190.5	5.2497	0.3099
31	1	122.0	4.804	0.0123
32	1	94.0	4.5433	0.0224
33	1	93.5	4.538	0.024
	$\Sigma = 33$		$\Sigma = 154.869$	$\Sigma = 7.2244$

Fuente: Autor

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

$$S^2 = \frac{7.2244}{(33 - 1)}$$

$$\mathbf{S^2 = 1.631}$$

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

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

$$S = \sqrt{1.631^2}$$

$$\mathbf{S = 1.2771}$$

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

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

$$\beta = \frac{\pi}{1.2771\sqrt{6}}$$

$$\mathbf{\beta = 1.0043}$$

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

$$\alpha = \exp\left(4.693 + \left(\frac{0.5772}{1.0043}\right)\right)$$

$$\mathbf{\alpha = 193.9746}$$

Tabla 24.- Parámetros iniciales de la inyectora 2

CALCULO DE PARÁMETROS	
MEDIA (X)	4.693
VARIANZA (S²)	1.631
DESVIACIÓN (S)	1.2771
BETA (β)	1.0043
ALPHA (α)	193.9749
GAMA (γ)	0

Fuente: Autor

Una vez determinado los parámetros iniciales con las ecuaciones 3 a la 7, se procede a calcular con las ecuaciones 1 y 2 la fiabilidad y la in fiabilidad de Weibull:

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t_0 - \gamma}{\alpha} \right)^{\frac{1}{\beta}} \right]$$

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{96 - 0}{193.9749} \right)^{\frac{1}{1.0043}} \right]$$

$$R(t) = 0.6087 = 60.87 \%$$

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

$$F(t) = 1 - 0.6087$$

$$F(t) = 0.3913 = 39.13 \%$$

Cabe recalcar que estos dos datos calculados pertenecen al primer dato estadístico de la tabla 14, para los demás datos se realizó el cálculo programando las ecuaciones en Excel, obteniendo los datos presentados a continuación:

Tabla 25.- Cálculo de Weibull inyectora 2

Inyectora de polímero N°2							
Actividad	TO (h)	ln(t)	(ln(t)-X) ^2	R(t)	R(t) %	F(t)	F(t) %
1	96.0	4.5643	0.0166	0.6087	60.87	0.3913	39.13
2	61.5	4.119	0.3295	0.7272	72.72	0.2728	27.28
3	106.0	4.6634	0.0009	0.5782	57.82	0.4218	42.18
4	110.5	4.705	0.0001	0.5649	56.49	0.4351	43.51
5	108.0	4.6821	0.0001	0.5723	57.23	0.4277	42.77
6	46.0	3.8286	0.7472	0.7877	78.77	0.2123	21.23
7	61.5	4.119	0.3295	0.7272	72.72	0.2728	27.28
8	93.0	4.5326	0.0257	0.6182	61.82	0.3818	38.18

Inyectora de polímero N°2							
Actividad	TO (h)	ln(t)	(ln(t)-X) ^2	R(t)	R(t) %	F(t)	F(t) %
9	110.0	4.7005	0.0001	0.5664	56.64	0.4336	43.36
10	141.5	4.9523	0.0672	0.4817	48.17	0.5183	51.83
11	58.0	4.0604	0.4002	0.7404	74.04	0.2596	25.96
12	125.0	4.8283	0.0183	0.5243	52.43	0.4757	47.57
13	190.0	5.247	0.3069	0.3755	37.55	0.6245	62.45
14	77.5	4.3503	0.1174	0.6696	66.96	0.3304	33.04
15	125.5	4.8323	0.0194	0.523	52.3	0.477	47.7
16	157.0	5.0562	0.1319	0.4448	44.48	0.5552	55.52
17	90.0	4.4998	0.0373	0.6278	62.78	0.3722	37.22
18	29.5	3.3844	1.7124	0.8579	85.79	0.1421	14.21
19	238.5	5.4744	0.6106	0.2927	29.27	0.7073	70.73
20	126.0	4.8363	0.0205	0.5216	52.16	0.4784	47.84
21	174.0	5.1591	0.2172	0.4076	40.76	0.5924	59.24
22	74.0	4.3041	0.1512	0.6818	68.18	0.3182	31.82
23	126.0	4.8363	0.0205	0.5216	52.16	0.4784	47.84
24	109.5	4.6959	0	0.5679	56.79	0.4321	43.21
25	125.5	4.8323	0.0194	0.523	52.3	0.477	47.7
26	253.0	5.5334	0.7063	0.2718	27.18	0.7282	72.82
27	122.0	4.804	0.0123	0.5325	53.25	0.4675	46.75
28	93.5	4.538	0.024	0.6166	61.66	0.3834	38.34
29	269.0	5.5947	0.8131	0.2504	25.04	0.7496	74.96
30	190.5	5.2497	0.3099	0.3745	37.45	0.6255	62.55
31	122.0	4.804	0.0123	0.5325	53.25	0.4675	46.75
32	94.0	4.5433	0.0224	0.615	61.5	0.385	38.5
33	93.5	4.538	0.024	0.6166	61.66	0.3834	38.34

Fuente: Autor

Con los datos obtenidos en la tabla procedemos a realizar los gráficos de R(t) vs TO y F(t) vs TO, respectivamente.

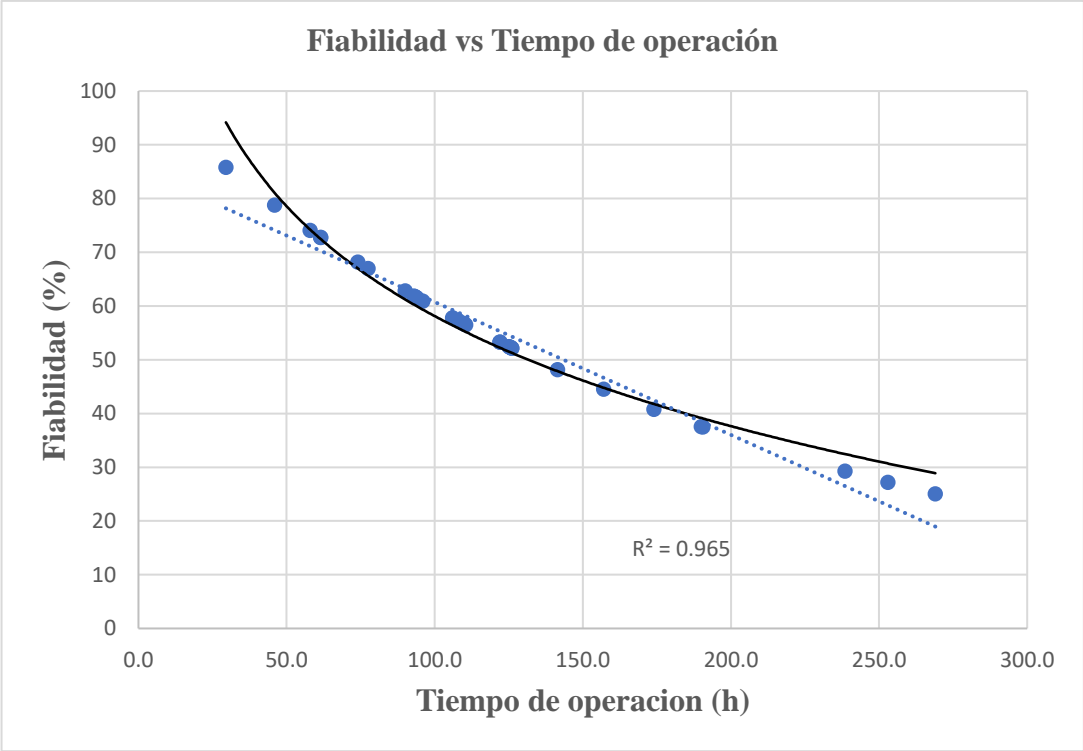


Figura 21.- Gráfica Fiabilidad de Weibull inyectora 2
Fuente: Autor

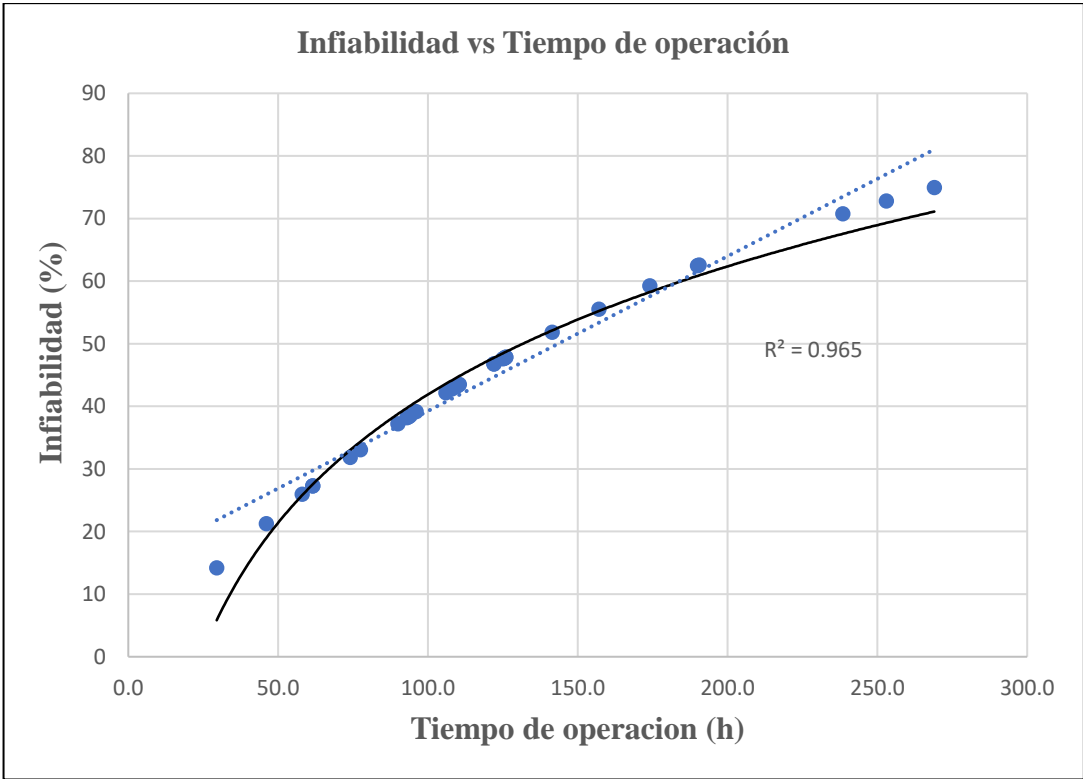


Figura 22.- Gráfica infiabilidad de Weibull inyectora 2
Fuente: Autor

De las gráficas obtenidas se puede concluir:

- Se puede identificar en la gráfica de fiabilidad que los datos se encuentran correlacionados de forma que describen una trayectoria o tendencia logarítmica.
- El coeficiente de correlación múltiple es cercano a 1 ($R = 0.965$), esto quiere decir que los datos se encuentran correlacionados en una tendencia logarítmica permitiendo así describir una curva de fiabilidad adecuada para el análisis de disponibilidad.
- El porcentaje de fiabilidad máximo posee un valor de 85.79 % con un tiempo de operación de 29.5 h.
- El porcentaje de fiabilidad mínimo posee un valor de 25.04 % correspondiente a un tiempo de operación de 269 h.
- De las gráficas se puede deducir que a mayor tiempo de operación la fiabilidad de los componentes es menor debido al desgaste y fallas que pueden presentar.
- Mediante la gráfica se puede identificar que la inyectora 2 se encuentra en la zona de mantenimiento infantil, esto explica que la tasa de fallos sea decreciente.

3.3.2. Modelo gráfico de Weibull

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

3.3.2.1. Modelo gráfico inyectora 1

En el caso de la inyectora 1, el estadístico se indica tamaños de muestra mayores a 20, por lo que se aplicará la fórmula 10 de aproximación de rangos medios como se muestra a continuación, tomando en consideración que por cada ítem existe una falla.

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

$$F(1) = \frac{1 - 0.3}{33 + 0.4} = 0.021$$

$$F(2) = \frac{2 - 0.3}{33 + 0.4} = 0.0509$$

$$F(3) = \frac{3 - 0.3}{33 + 0.4} = 0.0808$$

$$F(4) = \frac{4 - 0.3}{33 + 0.4} = 0.1108$$

$$F(5) = \frac{5 - 0.3}{33 + 0.4} = 0.1407$$

$$F(6) = \frac{6 - 0.3}{33 + 0.4} = 0.1707$$

$$F(7) = \frac{7 - 0.3}{33 + 0.4} = 0.2006$$

$$F(8) = \frac{8 - 0.3}{33 + 0.4} = 0.2305$$

$$F(9) = \frac{9 - 0.3}{33 + 0.4} = 0.2605$$

$$F(10) = \frac{10 - 0.3}{33 + 0.4} = 0.2904$$

$$F(11) = \frac{11 - 0.3}{33 + 0.4} = 0.3204$$

$$F(12) = \frac{12 - 0.3}{33 + 0.4} = 0.3503$$

$$F(13) = \frac{13 - 0.3}{33 + 0.4} = 0.3802$$

$$F(14) = \frac{14 - 0.3}{33 + 0.4} = 0.4102$$

$$F(15) = \frac{15 - 0.3}{33 + 0.4} = 0.4401$$

$$F(16) = \frac{16 - 0.3}{33 + 0.4} = 0.4701$$

Para una mayor facilidad se procede a realizar el calcula del rango medio con la ayuda de un programa de cálculo (Excel), como se indica en el Anexo 4, obteniendo los valores de rango medio siguiente (tabla 26) con tiempos de operación ordenados de forma ascendente:

Tabla 26.- Cálculo porcentaje de falla acumulativa F(i) inyectora 1

Numero de fallas (i)	To (h)	Rango medio	Porcentaje de falla acumulativa F(i) (%)
1	28	0.021	2.1
2	29.5	0.0509	5.09
3	61.5	0.0808	8.08
4	74	0.1108	11.08
5	74	0.1407	14.07
6	74	0.1707	17.07
7	77	0.2006	20.06
8	77	0.2305	23.05
9	77.5	0.2605	26.05
10	77.5	0.2904	29.04
11	77.5	0.3204	32.04
12	90	0.3503	35.03
13	93.5	0.3802	38.02
14	93.5	0.4102	41.02
15	94	0.4401	44.01
16	94	0.4701	47.01
17	94	0.5	50
18	96	0.5299	52.99
19	109.5	0.5599	55.99
20	125.5	0.5898	58.98
21	141	0.6198	61.98
22	154	0.6497	64.97
23	154	0.6796	67.96
24	158	0.7096	70.96
25	158	0.7395	73.95
26	174	0.7695	76.95
27	189.5	0.7994	79.94
28	190.5	0.8293	82.93
29	190.5	0.8593	85.93
30	205	0.8892	88.92
31	206.5	0.9192	91.92
32	238	0.9491	94.91
33	317	0.979	97.9

Fuente: Autor

Una vez determinado los pares ordenados procedemos a graficar (figura 19) los puntos y los demás parámetros:

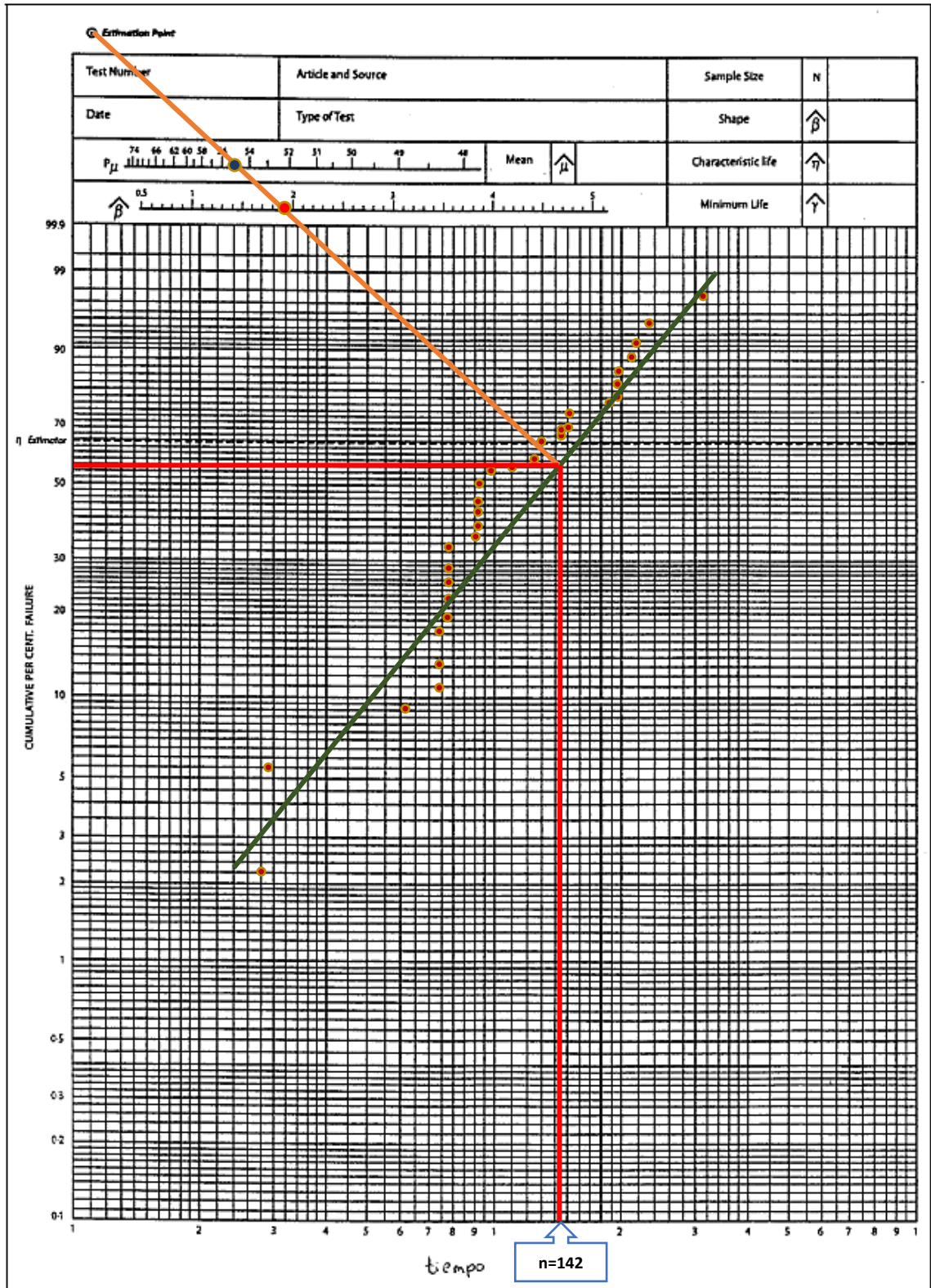


Figura 23.- Papel de Weibull inyectora 1
Fuente: Autor

Los datos obtenidos del papel de Weibull se describen en la tabla 27:

Tabla 27.- Parámetros de fallas inyectora 1

$P\mu$	55
β	1.9
n	142

Fuente: Autor

Reemplazando los valores en la fórmula de confiabilidad tenemos:

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

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{28 - 0}{142} \right)^{1.9} \right]$$

$$R(t) = 0.9553 = 95.53 \%$$

Debido a la cantidad de datos se procede a realizar el cálculo de la confiabilidad con la ayuda de un programa, obteniendo los resultados descritos en la tabla 28:

Tabla 28.- Confiabilidad de Weibull inyectora 1

Numero de fallas (i)	To (h)	Rango medio	Porcentaje de falla acumulativa F(i) (%)	R (t)	R (t) (%)
1	28	0.021	2.1	0.9553	95.53
2	29.5	0.0509	5.09	0.9508	95.08
3	61.5	0.0808	8.08	0.8155	81.55
4	74	0.1108	11.08	0.7484	74.84
5	74	0.1407	14.07	0.7484	74.84
6	74	0.1707	17.07	0.7484	74.84
7	77	0.2006	20.06	0.7315	73.15
8	77	0.2305	23.05	0.7315	73.15
9	77.5	0.2605	26.05	0.7287	72.87
10	77.5	0.2904	29.04	0.7287	72.87
11	77.5	0.3204	32.04	0.7287	72.87
12	90	0.3503	35.03	0.6568	65.68
13	93.5	0.3802	38.02	0.6363	63.63
14	93.5	0.4102	41.02	0.6363	63.63
15	94	0.4401	44.01	0.6334	63.34
16	94	0.4701	47.01	0.6334	63.34
17	94	0.5	50	0.6334	63.34
18	96	0.5299	52.99	0.6217	62.17

Numero de fallas (i)	To (h)	Rango medio	Porcentaje de falla acumulativa F(i) (%)	R (t)	R (t) (%)
19	109.5	0.5599	55.99	0.5432	54.32
20	125.5	0.5898	58.98	0.4535	45.35
21	141	0.6198	61.98	0.3728	37.28
22	154	0.6497	64.97	0.3114	31.14
23	154	0.6796	67.96	0.3114	31.14
24	158	0.7096	70.96	0.2938	29.38
25	158	0.7395	73.95	0.2938	29.38
26	174	0.7695	76.95	0.2296	22.96
27	189.5	0.7994	79.94	0.1772	17.72
28	190.5	0.8293	82.93	0.1742	17.42
29	190.5	0.8593	85.93	0.1742	17.42
30	205	0.8892	88.92	0.1341	13.41
31	206.5	0.9192	91.92	0.1304	13.04
32	238	0.9491	94.91	0.0694	6.94
33	317	0.979	97.9	0.0101	1.01

Fuente: Autor

Con los datos calculados procedemos a realizar la gráfica de confiabilidad vs tiempo de operación:

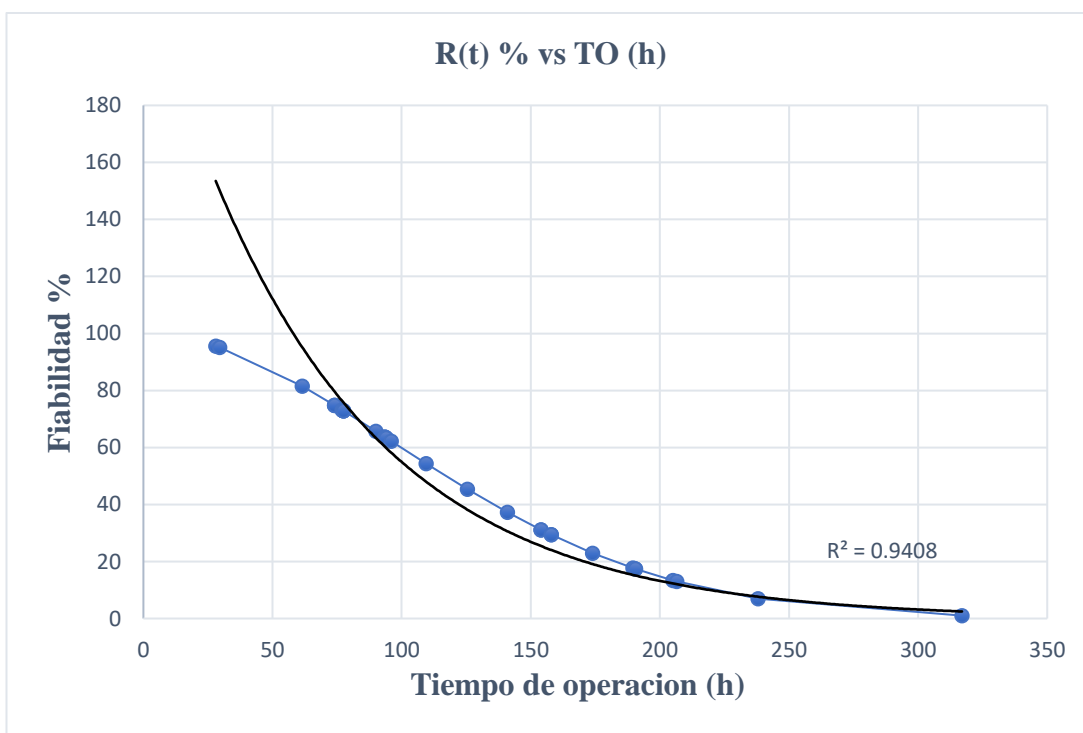


Figura 24.- Gráfica confiabilidad de Weibull inyectora 1

Fuente: Autor

De la gráfica podemos decir:

- Se pudo identificar en la figura 20 de fiabilidad de Weibull, según el método gráfico, que los datos se encuentran correlacionados de forma que describen una trayectoria o tendencia logarítmica.
- El coeficiente de correlación múltiple es cercano a 1 ($R = 0.9408$), esto quiere decir que los datos se encuentran correlacionados en una tendencia logarítmica permitiendo así identificar la zona de mantenimiento en la que se encuentra.
- El porcentaje de fiabilidad máximo según el método gráfico es de 95.53 % con un tiempo de operación de 28 h.
- El porcentaje de fiabilidad mínimo según el método gráfico es de 1.01 % correspondiente a un tiempo de operación de 317 h.
- De las gráficas se puede deducir que a mayor tiempo de operación la fiabilidad de los componentes es menor debido al desgaste y fallas que pueden presentar durante este tiempo.
- Mediante la gráfica obtenida a partir del modelo gráfico de Weibull se puede identificar que la inyectora 1 se encuentra en la zona de mantenimiento infantil, esto explica que la tasa de fallos sea decreciente.

3.3.2.2. Modelo gráfico inyectora 2

Como en el caso anterior el estadístico nos indica tamaños de muestra mayor a 20, por lo que se aplicará la fórmula 10 para la obtención de rangos medios acumulativos, obteniendo lo siguiente:

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

$$F(1) = \frac{1 - 0.3}{33 + 0.4} = 0.021$$

$$F(2) = \frac{2 - 0.3}{33 + 0.4} = 0.0509$$

$$F(3) = \frac{3 - 0.3}{33 + 0.4} = 0.0808$$

Como en el caso anterior el cálculo se realiza a partir de un programa de cálculo (Excel), como se indica en el Anexo 4, obteniendo los valores de rango medio, descrita en la tabla 29:

Tabla 29.- Cálculo porcentaje de falla acumulativa F(i) inyectora 2

Numero de fallas (i)	To (h)	Rango medio	Porcentaje de falla acumulativa F(i) (%)
1	29.5	0.021	2.1
2	46	0.0509	5.09
3	58	0.0808	8.08
4	61.5	0.1108	11.08
5	61.5	0.1407	14.07
6	74	0.1707	17.07
7	77.5	0.2006	20.06
8	90	0.2305	23.05
9	93	0.2605	26.05
10	93.5	0.2904	29.04
11	93.5	0.3204	32.04
12	94	0.3503	35.03
13	96	0.3802	38.02
14	106	0.4102	41.02
15	108	0.4401	44.01
16	109.5	0.4701	47.01
17	110	0.5	50
18	110.5	0.5299	52.99
19	122	0.5599	55.99
20	122	0.5898	58.98
21	125	0.6198	61.98
22	125.5	0.6497	64.97
23	125.5	0.6796	67.96
24	126	0.7096	70.96
25	126	0.7395	73.95
26	141.5	0.7695	76.95
27	157	0.7994	79.94
28	174	0.8293	82.93
29	190	0.8593	85.93
30	190.5	0.8892	88.92
31	238.5	0.9192	91.92
32	253	0.9491	94.91
33	269	0.979	97.9

Fuente: Autor

Una vez determinado los pares ordenados procedemos a graficar (figura 21) los puntos y los demás parámetros:

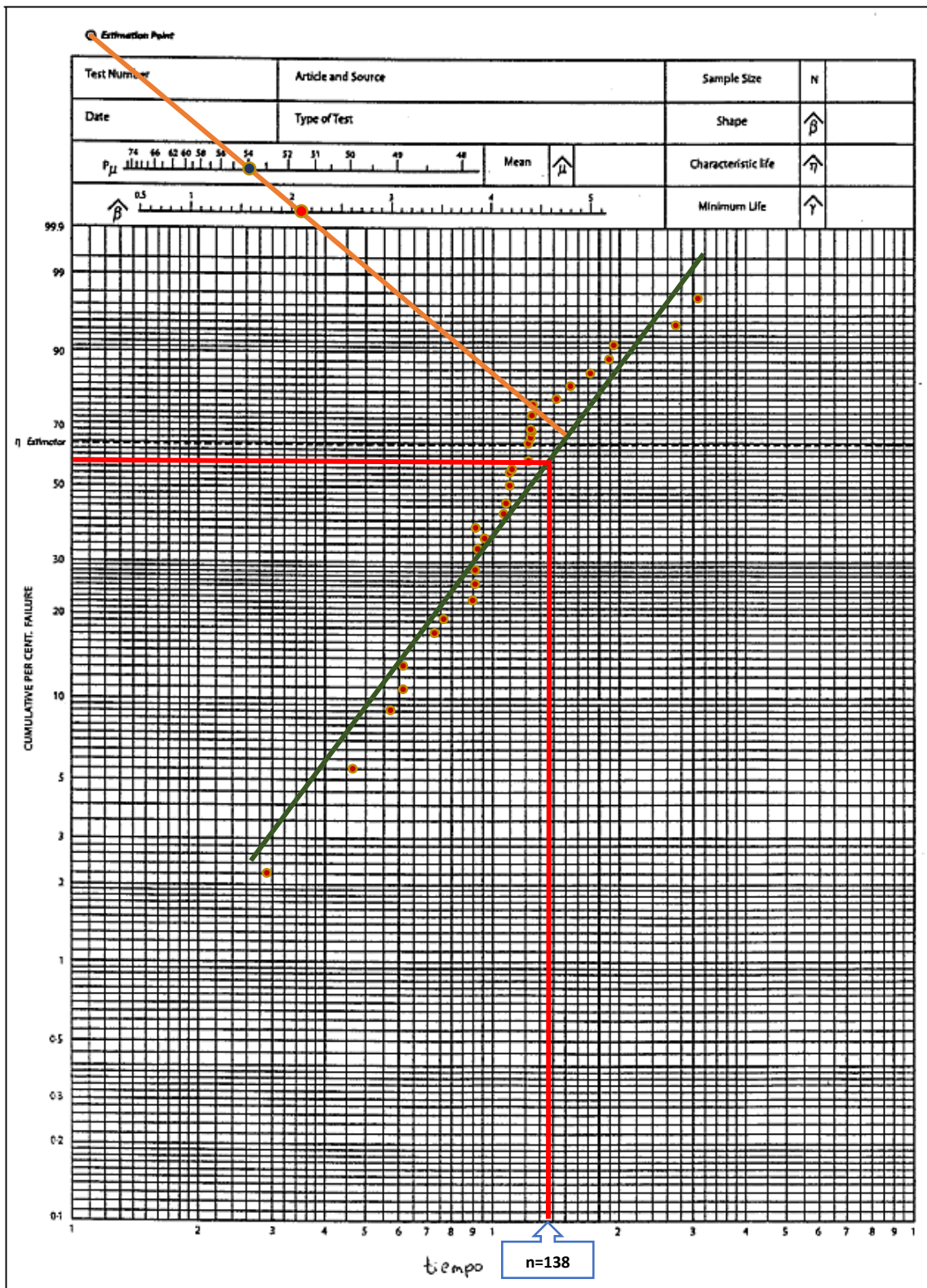


Figura 25.- Papel de Weibull inyectora 2

Fuente: Autor

Los datos obtenidos del papel de Weibull se describen en la tala 30:

Tabla 30.- Parámetros de fallas inyectora 2

$P\mu$	54
β	2.1
n	138

Fuente: Autor

Reemplazando los valores en la fórmula de confiabilidad tenemos:

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

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{29.5 - 0}{138} \right)^{1.9} \right]$$

$$R(t) = 0.9616 = 96.16 \%$$

Debido a la cantidad de datos se procede a realizar el cálculo de la confiabilidad con la ayuda de un programa, obteniendo los resultados descritos en la tabla 31:

Tabla 31.- Confiabilidad de Weibull inyectora 2

Numero de fallas (i)	To (h)	Rango medio	Porcentaje de falla acumulativa F(i) (%)	R (t)	R (t) (%)
1	29.5	0.021	2.1	0.9616	96.16
2	46	0.0509	5.09	0.9052	90.52
3	58	0.0808	8.08	0.8505	85.05
4	61.5	0.1108	11.08	0.8326	83.26
5	61.5	0.1407	14.07	0.8326	83.26
6	74	0.1707	17.07	0.7632	76.32
7	77.5	0.2006	20.06	0.7425	74.25
8	90	0.2305	23.05	0.6653	66.53
9	93	0.2605	26.05	0.6462	64.62
10	93.5	0.2904	29.04	0.6431	64.31
11	93.5	0.3204	32.04	0.6431	64.31
12	94	0.3503	35.03	0.6399	63.99
13	96	0.3802	38.02	0.6271	62.71
14	106	0.4102	41.02	0.5629	56.29
15	108	0.4401	44.01	0.5501	55.01
16	109.5	0.4701	47.01	0.5405	54.05
17	110	0.5	50	0.5373	53.73
18	110.5	0.5299	52.99	0.5342	53.42

Numero de fallas (i)	To (h)	Rango medio	Porcentaje de falla acumulativa F(i) (%)	R (t)	R (t) (%)
19	122	0.5599	55.99	0.4621	46.21
20	122	0.5898	58.98	0.4621	46.21
21	125	0.6198	61.98	0.4438	44.38
22	125.5	0.6497	64.97	0.4408	44.08
23	125.5	0.6796	67.96	0.4408	44.08
24	126	0.7096	70.96	0.4378	43.78
25	126	0.7395	73.95	0.4378	43.78
26	141.5	0.7695	76.95	0.3485	34.85
27	157	0.7994	79.94	0.2695	26.95
28	174	0.8293	82.93	0.1965	19.65
29	190	0.8593	85.93	0.1413	14.13
30	190.5	0.8892	88.92	0.1397	13.97
31	238.5	0.9192	91.92	0.0426	4.26
32	253	0.9491	94.91	0.0281	2.81
33	269	0.979	97.9	0.0172	1.72

Fuente: Autor

Con los datos calculados procedemos a realizar la gráfica de confiabilidad vs tiempo de operación:

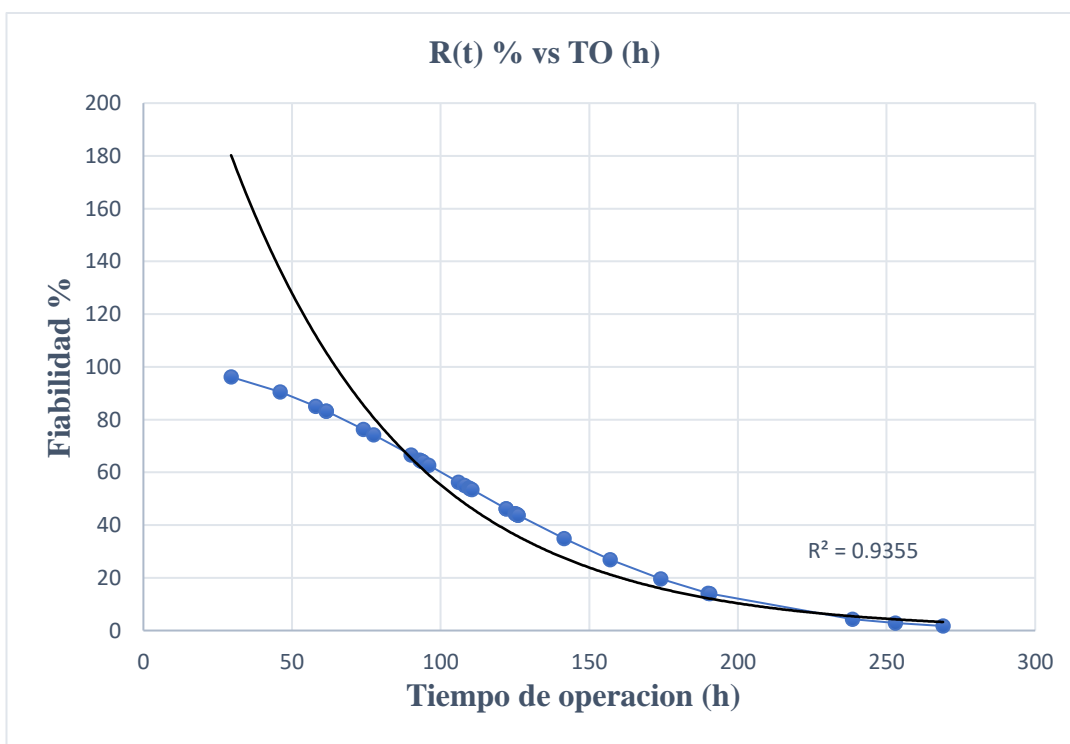


Figura 26.- Gráfica confiabilidad de Weibull inyectora 2

Fuente: Autor

De la gráfica podemos decir:

- Se pudo identificar en la figura 22 de fiabilidad de Weibull, según el método gráfico, que los datos se encuentran correlacionados de forma que describen una trayectoria o tendencia logarítmica.
- El coeficiente de correlación múltiple es cercano a 1 ($R = 0.9355$), esto quiere decir que los datos se encuentran correlacionados en una tendencia logarítmica permitiendo así identificar la zona de mantenimiento en la que se encuentra.
- El porcentaje de fiabilidad máximo según el método gráfico es de 96.16 % con un tiempo de operación de 29.5 h.
- El porcentaje de fiabilidad mínimo según el método gráfico es de 1.72 % correspondiente a un tiempo de operación de 269 h.
- De las gráficas se puede deducir que a mayor tiempo de operación la fiabilidad de los componentes es menor debido al desgaste y fallas que pueden presentar durante este tiempo.
- Mediante la gráfica obtenida a partir del modelo gráfico de Weibull se puede identificar que la inyectora 1 se encuentra en la zona de mantenimiento infantil, esto explica que la tasa de fallos sea decreciente.

3.4. Desarrollo del plan de mantenimiento preventivo a partir de curvas de fiabilidad de Weibull

3.4.1. Bitácora de mantenimiento preventivo:

La bitácora de mantenimiento se realiza a partir de las estimaciones estadísticas de confiabilidad Weibull desarrollados con anterioridad, en la cual se detalla las actividades a realizar por el operario de las máquinas inyectoras para evitar fallos inesperados de los componentes y sistemas de la misma. Para ello se describe la frecuencia de mantenimiento, en código de colores, como se muestra en la tabla 32:

Tabla 32.- Tiempo de mantenimiento

COLOR	FRECUENCIA
	Diaria
	Semanal
	Mensual
	Semestral
	Anual

Fuente: Autor

3.4.2. Gamas de mantenimiento

Las gamas de mantenimiento son el detalle por mes de las actividades que se deben realizar para llevar a cabo el mantenimiento de la máquina, en este caso las gamas dividen de la bitácora general detallando cada mes como se indica a continuación:

Tabla 33.- Gama de mantenimiento mes de ENERO

MÁQUINA	ACTIVIDADES	ENERO																															
		2	3	4	7	8	9	10	11	14	15	16	17	18	21	22	23	24	25	28	29	30	31										
INYECTORA DE POLÍMERO HORIZONTAL	Limpieza General de la Máquina																																
	Limpieza de los conductos de inyeccion																																
	Limpieza de Moldes																																
	Limpieza de las Columnas de las Guías Anti-rotación																																
	Limpieza de las guías de deslizamiento																																
	Limpieza de las tolvas																																
	Engrase de las guías y correderas del tender inferior																																
	Engrase de la cadena de ajuste de la altura de los moldes																																
	Engrase de la rosca de las columnas de las prensas																																
	Engrase de la palanca acodada (si la maquina no dispone de lubricación automática)																																
	Control de la circulación del agua en el intercambiados																																
	Control de las condiciones de las mangueras de caucho de aspiración de las bombas																																
	Control de la junta motor - bomba																																
	Control del nivel de aceite de la central oleodinámica																																
	Control de las condiciones de todos los tubos flexibles del circuito hidráulico																																
	Control de la eficiencia del termostato																																
	Control de la eficiencia del indicador eléctrico de nivel mínimo de aceite																																
	Control de eventuales perdidas de aceite desde los grupos hidráulicos																																
	Controles de eventuales perdidas de aceite en los cilindros de cierre																																
	Control de los tubos oleodinámicos de los cilindros de cierre																																
	Control del tensado de la cadena de ajuste de la altura de los moldes																																
	Control del paralelismo entre planos móvil y plano fijo																																
	Control de las boquillas de inyección																																
	Control de la alineación boquillas – orificios de inyección en los moldes																																
	Control del buen funcionamiento de los fines de carrera de los inyectores																																
	Control de las zonas de temperatura																																
	Control la estanqueidad de válvulas y juntas de cilindros																																
	Control del nivel de aceite en la copa del aceite de lubricación del aire comprimido																																
	Control de lubricación de la instalación del aire																																
	Control del funcionamiento de los ventiladores																																
	Control del funcionamiento de la instalación de enfriamiento																																
Control de la eficiencia del dispositivo de seguridad mecánico para el cierre de la prensa																																	

Fuente: Autor

Tabla 34.- Gama de mantenimiento mes de FEBRERO

MÁQUINA	ACTIVIDADES	FEBRERO																												
		1	4	5	6	7	8	11	12	13	14	15	18	19	20	21	22	25	26	27	28									
INYECTORA DE POLÍMERO HORIZONTAL	Limpieza General de la Máquina																													
	Limpieza de los conductos de inyección																													
	Limpieza de Moldes																													
	Limpieza de las Columnas de las Guías Anti-rotación																													
	Limpieza de las guías de deslizamiento																													
	Limpieza de las tolvas																													
	Engrase de las guías y correderas del tender inferior																													
	Engrase de la cadena de ajuste de la altura de los moldes																													
	Engrase de la rosca de las columnas de las prensas																													
	Engrase de la palanca acodada (si la máquina no dispone de lubricación automática)																													
	Control de la circulación del agua en el intercambiados																													
	Control de las condiciones de las mangueras de caucho de aspiración de las bombas																													
	Control de la junta motor - bomba																													
	Control del nivel de aceite de la central oleodinámica																													
	Control de las condiciones de todos los tubos flexibles del circuito hidráulico																													
	Control de la eficiencia del termostato																													
	Control de la eficiencia del indicador eléctrico de nivel mínimo de aceite																													
	Control de eventuales pérdidas de aceite desde los grupos hidráulicos																													
	Controles de eventuales pérdidas de aceite en los cilindros de cierre																													
	Control de los tubos oleodinámicos de los cilindros de cierre																													
	Control del tensado de la cadena de ajuste de la altura de los moldes																													
	Control del paralelismo entre planos móvil y plano fijo																													
	Control de las boquillas de inyección																													
	Control de la alineación boquillas – orificios de inyección en los moldes																													
	Control del buen funcionamiento de los fines de carrera de los inyectores																													
	Control de las zonas de temperatura																													
	Control la estanqueidad de válvulas y juntas de cilindros																													
	Control del nivel de aceite en la copa del aceite de lubricación del aire comprimido																													
	Control de lubricación de la instalación del aire																													
	Control del funcionamiento de los ventiladores																													
Control del funcionamiento de la instalación de enfriamiento																														
Control de la eficiencia del dispositivo de seguridad mecánico para el cierre de la prensa																														

Fuente: Autor

Tabla 35.- Gama de mantenimiento mes de MARZO

MÁQUINA	ACTIVIDADES	MARZO																													
		1	6	7	8	11	12	13	14	15	18	19	20	21	22	25	26	27	28	29											
INYECTORA DE POLÍMERO HORIZONTAL	Limpieza General de la Máquina																														
	Limpieza de los conductos de inyección																														
	Limpieza de Moldes																														
	Limpieza de las Columnas de las Guías Anti-rotación																														
	Limpieza de las guías de deslizamiento																														
	Limpieza de las tolvas																														
	Engrase de las guías y correderas del tender inferior																														
	Engrase de la cadena de ajuste de la altura de los moldes																														
	Engrase de la rosca de las columnas de las prensas																														
	Engrase de la palanca acodada (si la maquina no dispone de lubricación automática)																														
	Control de la circulación del agua en el intercambiados																														
	Control de las condiciones de las mangueras de caucho de aspiración de las bombas																														
	Control de la junta motor - bomba																														
	Control del nivel de aceite de la central oleodinámica																														
	Control de las condiciones de todos los tubos flexibles del circuito hidráulico																														
	Control de la eficiencia del termostato																														
	Control de la eficiencia del indicador eléctrico de nivel mínimo de aceite																														
	Control de eventuales pérdidas de aceite desde los grupos hidráulicos																														
	Controles de eventuales pérdidas de aceite en los cilindros de cierre																														
	Control de los tubos oleodinámicos de los cilindros de cierre																														
	Control del tensado de la cadena de ajuste de la altura de los moldes																														
	Control del paralelismo entre planos móvil y plano fijo																														
	Control de las boquillas de inyección																														
	Control de la alineación boquillas – orificios de inyección en los moldes																														
	Control del buen funcionamiento de los fines de carrera de los inyectores																														
	Control de las zonas de temperatura																														
	Control la estanqueidad de válvulas y juntas de cilindros																														
	Control del nivel de aceite en la copa del aceite de lubricación del aire comprimido																														
	Control de lubricación de la instalación del aire																														
	Control del funcionamiento de los ventiladores																														
Control del funcionamiento de la instalación de enfriamiento																															
Control de la eficiencia del dispositivo de seguridad mecánico para el cierre de la prensa																															

Fuente: Autor

Tabla 36.- Gama de mantenimiento mes de ABRIL

MÁQUINA	ACTIVIDADES	ABRIL																																			
		1	2	3	4	5	8	9	10	11	12	15	16	17	18	22	23	24	25	26	29	30															
INYECTORA DE POLÍMERO HORIZONTAL	Limpieza General de la Máquina																																				
	Limpieza de los conductos de inyección																																				
	Limpieza de Moldes																																				
	Limpieza de las Columnas de las Guías Anti-rotación																																				
	Limpieza de las guías de deslizamiento																																				
	Limpieza de las tolvas																																				
	Engrase de las guías y correderas del tender inferior																																				
	Engrase de la cadena de ajuste de la altura de los moldes																																				
	Engrase de la rosca de las columnas de las prensas																																				
	Engrase de la palanca acodada (si la maquina no dispone de lubricación automática)																																				
	Control de la circulación del agua en el intercambiados																																				
	Control de las condiciones de las mangueras de caucho de aspiración de las bombas																																				
	Control de la junta motor - bomba																																				
	Control del nivel de aceite de la central oleodinámica																																				
	Control de las condiciones de todos los tubos flexibles del circuito hidráulico																																				
	Control de la eficiencia del termostato																																				
	Control de la eficiencia del indicador eléctrico de nivel mínimo de aceite																																				
	Control de eventuales pérdidas de aceite desde los grupos hidráulicos																																				
	Controles de eventuales pérdidas de aceite en los cilindros de cierre																																				
	Control de los tubos oleodinámicos de los cilindros de cierre																																				
	Control del tensado de la cadena de ajuste de la altura de los moldes																																				
	Control del paralelismo entre planos móvil y plano fijo																																				
	Control de las boquillas de inyección																																				
	Control de la alineación boquillas – orificios de inyección en los moldes																																				
	Control del buen funcionamiento de los fines de carrera de los inyectores																																				
	Control de las zonas de temperatura																																				
	Control la estanqueidad de válvulas y juntas de cilindros																																				
	Control del nivel de aceite en la copa del aceite de lubricación del aire comprimido																																				
	Control de lubricación de la instalación del aire																																				
	Control del funcionamiento de los ventiladores																																				
Control del funcionamiento de la instalación de enfriamiento																																					
Control de la eficiencia del dispositivo de seguridad mecánico para el cierre de la prensa																																					

Fuente: Autor

Tabla 37.- Gama de mantenimiento mes de MAYO

MÁQUINA	ACTIVIDADES	MAYO																																											
		2	3	6	7	8	9	10	13	14	15	16	17	20	21	22	23	27	28	29	30	31																							
INYECTORA DE POLÍMERO HORIZONTAL	Limpieza General de la Máquina																																												
	Limpieza de los conductos de inyección																																												
	Limpieza de Moldes																																												
	Limpieza de las Columnas de las Guías Anti-rotación																																												
	Limpieza de las guías de deslizamiento																																												
	Limpieza de las tolvas																																												
	Engrase de las guías y correderas del tender inferior																																												
	Engrase de la cadena de ajuste de la altura de los moldes																																												
	Engrase de la rosca de las columnas de las prensas																																												
	Engrase de la palanca acodada (si la máquina no dispone de lubricación automática)																																												
	Control de la circulación del agua en el intercambiados																																												
	Control de las condiciones de las mangueras de caucho de aspiración de las bombas																																												
	Control de la junta motor - bomba																																												
	Control del nivel de aceite de la central oleodinámica																																												
	Control de las condiciones de todos los tubos flexibles del circuito hidráulico																																												
	Control de la eficiencia del termostato																																												
	Control de la eficiencia del indicador eléctrico de nivel mínimo de aceite																																												
	Control de eventuales pérdidas de aceite desde los grupos hidráulicos																																												
	Controles de eventuales pérdidas de aceite en los cilindros de cierre																																												
	Control de los tubos oleodinámicos de los cilindros de cierre																																												
	Control del tensado de la cadena de ajuste de la altura de los moldes																																												
	Control del paralelismo entre planos móvil y plano fijo																																												
	Control de las boquillas de inyección																																												
	Control de la alineación boquillas – orificios de inyección en los moldes																																												
	Control del buen funcionamiento de los fines de carrera de los inyectores																																												
	Control de las zonas de temperatura																																												
	Control la estanqueidad de válvulas y juntas de cilindros																																												
	Control del nivel de aceite en la copa del aceite de lubricación del aire comprimido																																												
	Control de lubricación de la instalación del aire																																												
	Control del funcionamiento de los ventiladores																																												
	Control del funcionamiento de la instalación de enfriamiento																																												
Control de la eficiencia del dispositivo de seguridad mecánico para el cierre de la prensa																																													

Fuente: Autor

Tabla 38.- Gama de mantenimiento mes de JUNIO

MÁQUINA	ACTIVIDADES	JUNIO																													
		3	4	5	6	7	10	11	12	13	14	17	18	19	20	21	24	25	26	27	28										
INYECTORA DE POLÍMERO HORIZONTAL	Limpieza General de la Máquina																														
	Limpieza de los conductos de inyeccion																														
	Liempieza de Moldes																														
	Limpieza de las Columnas de las Guías Anti-rotación																														
	Limpieza de las guías de deslizamiento																														
	Limpieza de las tolvas																														
	Engrase de las guías y correderas del tender inferior																														
	Engrase de la cadena de ajuste de la altura de los moldes																														
	Engrase de la rosca de las columnas de las prensas																														
	Engrase de la palanca acodada (si la maquina no dispone de lubricación automática)																														
	Control de la circulación del agua en el intercambiados																														
	Control de las condiciones de las mangueras de caucho de aspiración de las bombas																														
	Control de la junta motor - bomba																														
	Control del nivel de aceite de la central oleodinámica																														
	Control de las condiciones de todos los tubos flexibles del circuito hidráulico																														
	Control de la eficiencia del termostato																														
	Control de la eficiencia del indicador eléctrico de nivel mínimo de aceite																														
	Control de eventuales perdidas de aceite desde los grupos hidráulicos																														
	Controles de eventuales perdidas de aceite en los cilindros de cierre																														
	Control de los tubos oleodinámicos de los cilindros de cierre																														
	Control del tensado de la cadena de ajuste de la altura de los moldes																														
	Control del paralelismo entre planos móvil y plano fijo																														
	Control de las boquillas de inyección																														
	Control de la alineación boquillas – orificios de inyección en los moldes																														
	Control del buen funcionamiento de los fines de carrera de los inyectores																														
	Control de las zonas de temperatura																														
	Control la estanqueidad de válvulas y juntas de cilindros																														
	Control del nivel de aceite en la copa del aceite de lubricación del aire comprimido																														
	Control de lubricación de la instalación del aire																														
	Control del funcionamiento de los ventiladores																														
Control del funcionamiento de la instalación de enfriamiento																															
Control de la eficiencia del dispositivo de seguridad mecánico para el cierre de la prensa																															

Fuente: Autor

Tabla 39.- Gama de mantenimiento mes de JULIO

MÁQUINA	ACTIVIDADES	JULIO																																								
		1	2	3	4	5	8	9	10	11	12	15	16	17	18	19	22	23	24	25	26	29	30	31																		
INYECTORA DE POLÍMERO HORIZONTAL	Limpieza General de la Máquina																																									
	Limpieza de los conductos de inyeccion																																									
	Limpieza de Moldes																																									
	Limpieza de las Columnas de las Guías Anti-rotación																																									
	Limpieza de las guías de deslizamiento																																									
	Limpieza de las tolvas																																									
	Engrase de las guías y correderas del tender inferior																																									
	Engrase de la cadena de ajuste de la altura de los moldes																																									
	Engrase de la rosca de las columnas de las prensas																																									
	Engrase de la palanca acodada (si la maquina no dispone de lubricación automática)																																									
	Control de la circulación del agua en el intercambiados																																									
	Control de las condiciones de las mangueras de caucho de aspiración de las bombas																																									
	Control de la junta motor - bomba																																									
	Control del nivel de aceite de la central oleodinámica																																									
	Control de las condiciones de todos los tubos flexibles del circuito hidráulico																																									
	Control de la eficiencia del termostato																																									
	Control de la eficiencia del indicador eléctrico de nivel mínimo de aceite																																									
	Control de eventuales pérdidas de aceite desde los grupos hidráulicos																																									
	Controles de eventuales pérdidas de aceite en los cilindros de cierre																																									
	Control de los tubos oleodinámicos de los cilindros de cierre																																									
	Control del tensado de la cadena de ajuste de la altura de los moldes																																									
	Control del paralelismo entre planos móvil y plano fijo																																									
	Control de las boquillas de inyección																																									
	Control de la alineación boquillas – orificios de inyección en los moldes																																									
	Control del buen funcionamiento de los fines de carrera de los inyectores																																									
	Control de las zonas de temperatura																																									
	Control la estanqueidad de válvulas y juntas de cilindros																																									
	Control del nivel de aceite en la copa del aceite de lubricación del aire comprimido																																									
	Control de lubricación de la instalación del aire																																									
	Control del funcionamiento de los ventiladores																																									
	Control del funcionamiento de la instalación de enfriamiento																																									
Control de la eficiencia del dispositivo de seguridad mecánico para el cierre de la prensa																																										

Fuente: Autor

Tabla 40.- Gama de mantenimiento mes de AGOSTO

MÁQUINA	ACTIVIDADES	AGOSTO																													
		1	2	5	6	7	8	12	13	14	15	16	19	20	21	22	23	26	27	28	29	30									
INYECTORA DE POLÍMERO HORIZONTAL	Limpeza General de la Máquina																														
	Limpeza de los conductos de inyeccion																														
	Liempieza de Moldes																														
	Limpeza de las Columnas de las Guías Anti-rotación																														
	Limpeza de las guías de deslizamiento																														
	Limpeza de las tolvas																														
	Engrase de las guías y correderas del tender inferior																														
	Engrase de la cadena de ajuste de la altura de los moldes																														
	Engrase de la rosca de las columnas de las prensas																														
	Engrase de la palanca acodada (si la maquina no dispone de lubricación automática)																														
	Control de la circulación del agua en el intercambiados																														
	Control de las condiciones de las mangueras de caucho de aspiración de las bombas																														
	Control de la junta motor - bomba																														
	Control del nivel de aceite de la central oleodinámica																														
	Control de las condiciones de todos los tubos flexibles del circuito hidráulico																														
	Control de la eficiencia del termostato																														
	Control de la eficiencia del indicador eléctrico de nivel mínimo de aceite																														
	Control de eventuales perdidas de aceite desde los grupos hidráulicos																														
	Controles de eventuales perdidas de aceite en los cilindros de cierre																														
	Control de los tubos oleodinámicos de los cilindros de cierre																														
	Control del tensado de la cadena de ajuste de la altura de los moldes																														
	Control del paralelismo entre planos móvil y plano fijo																														
	Control de las boquillas de inyección																														
	Control de la alineación boquillas – orificios de inyección en los moldes																														
	Control del buen funcionamiento de los fines de carrera de los inyectores																														
	Control de las zonas de temperatura																														
	Control la estanqueidad de válvulas y juntas de cilindros																														
	Control del nivel de aceite en la copa del aceite de lubricación del aire comprimido																														
	Control de lubricación de la instalación del aire																														
	Control del funcionamiento de los ventiladores																														
Control del funcionamiento de la instalación de enfriamiento																															
Control de la eficiencia del dispositivo de seguridad mecánico para el cierre de la prensa																															

Fuente: Autor

Tabla 41.- Gama de mantenimiento mes de SEPTIEMBRE

MÁQUINA	ACTIVIDADES	SEPTIEMBRE																																					
		2	3	4	5	6	9	10	11	12	13	16	17	18	19	20	23	24	25	26	27	30																	
INYECTORA DE POLÍMERO HORIZONTAL	Limpieza General de la Máquina																																						
	Limpieza de los conductos de inyección																																						
	Limpieza de Moldes																																						
	Limpieza de las Columnas de las Guías Anti-rotación																																						
	Limpieza de las guías de deslizamiento																																						
	Limpieza de las tolvas																																						
	Engrase de las guías y correderas del tender inferior																																						
	Engrase de la cadena de ajuste de la altura de los moldes																																						
	Engrase de la rosca de las columnas de las prensas																																						
	Engrase de la palanca acodada (si la máquina no dispone de lubricación automática)																																						
	Control de la circulación del agua en el intercambiados																																						
	Control de las condiciones de las mangueras de caucho de aspiración de las bombas																																						
	Control de la junta motor - bomba																																						
	Control del nivel de aceite de la central oleodinámica																																						
	Control de las condiciones de todos los tubos flexibles del circuito hidráulico																																						
	Control de la eficiencia del termostato																																						
	Control de la eficiencia del indicador eléctrico de nivel mínimo de aceite																																						
	Control de eventuales pérdidas de aceite desde los grupos hidráulicos																																						
	Controles de eventuales pérdidas de aceite en los cilindros de cierre																																						
	Control de los tubos oleodinámicos de los cilindros de cierre																																						
	Control del tensado de la cadena de ajuste de la altura de los moldes																																						
	Control del paralelismo entre planos móvil y plano fijo																																						
	Control de las boquillas de inyección																																						
	Control de la alineación boquillas - orificios de inyección en los moldes																																						
	Control del buen funcionamiento de los fines de carrera de los inyectores																																						
	Control de las zonas de temperatura																																						
	Control la estanqueidad de válvulas y juntas de cilindros																																						
	Control del nivel de aceite en la copa del aceite de lubricación del aire comprimido																																						
	Control de lubricación de la instalación del aire																																						
	Control del funcionamiento de los ventiladores																																						
Control del funcionamiento de la instalación de enfriamiento																																							
Control de la eficiencia del dispositivo de seguridad mecánico para el cierre de la prensa																																							

Fuente: Autor

Tabla 42.- Gama de mantenimiento mes de OCTUBRE

MÁQUINA	ACTIVIDADES	OCTUBRE																																						
		1	2	3	4	7	5	6	10	14	15	16	17	18	21	22	23	24	25	28	29	30	31																	
INYECTORA DE POLÍMERO HORIZONTAL	Limpieza General de la Máquina																																							
	Limpieza de los conductos de inyección																																							
	Limpieza de Moldes																																							
	Limpieza de las Columnas de las Guías Anti-rotación																																							
	Limpieza de las guías de deslizamiento																																							
	Limpieza de las tolvas																																							
	Engrase de las guías y correderas del tender inferior																																							
	Engrase de la cadena de ajuste de la altura de los moldes																																							
	Engrase de la rosca de las columnas de las prensas																																							
	Engrase de la palanca acodada (si la maquina no dispone de lubricación automática)																																							
	Control de la circulación del agua en el intercambiados																																							
	Control de las condiciones de las mangueras de caucho de aspiración de las bombas																																							
	Control de la junta motor - bomba																																							
	Control del nivel de aceite de la central oleodinámica																																							
	Control de las condiciones de todos los tubos flexibles del circuito hidráulico																																							
	Control de la eficiencia del termostato																																							
	Control de la eficiencia del indicador eléctrico de nivel mínimo de aceite																																							
	Control de eventuales pérdidas de aceite desde los grupos hidráulicos																																							
	Controles de eventuales pérdidas de aceite en los cilindros de cierre																																							
	Control de los tubos oleodinámicos de los cilindros de cierre																																							
	Control del tensado de la cadena de ajuste de la altura de los moldes																																							
	Control del paralelismo entre planos móvil y plano fijo																																							
	Control de las boquillas de inyección																																							
	Control de la alineación boquillas – orificios de inyección en los moldes																																							
	Control del buen funcionamiento de los fines de carrera de los inyectores																																							
	Control de las zonas de temperatura																																							
	Control la estanqueidad de válvulas y juntas de cilindros																																							
	Control del nivel de aceite en la copa del aceite de lubricación del aire comprimido																																							
	Control de lubricación de la instalación del aire																																							
	Control del funcionamiento de los ventiladores																																							
	Control del funcionamiento de la instalación de enfriamiento																																							
Control de la eficiencia del dispositivo de seguridad mecánico para el cierre de la prensa																																								

Fuente: Autor

Tabla 43.- Gama de mantenimiento mes de NOVIEMBRE

MÁQUINA	ACTIVIDADES	NOVIEMBRE																														
		5	6	7	8	11	12	13	14	15	18	19	20	21	22	25	26	27	28	29												
INYECTORA DE POLÍMERO HORIZONTAL	Limpieza General de la Máquina																															
	Limpieza de los conductos de inyección																															
	Limpieza de Moldes																															
	Limpieza de las Columnas de las Guías Anti-rotación																															
	Limpieza de las guías de deslizamiento																															
	Limpieza de las tolvas																															
	Engrase de las guías y correderas del tender inferior																															
	Engrase de la cadena de ajuste de la altura de los moldes																															
	Engrase de la rosca de las columnas de las prensas																															
	Engrase de la palanca acodada (si la maquina no dispone de lubricación automática)																															
	Control de la circulación del agua en el intercambiados																															
	Control de las condiciones de las mangueras de caucho de aspiración de las bombas																															
	Control de la junta motor - bomba																															
	Control del nivel de aceite de la central oleodinámica																															
	Control de las condiciones de todos los tubos flexibles del circuito hidráulico																															
	Control de la eficiencia del termostato																															
	Control de la eficiencia del indicador eléctrico de nivel mínimo de aceite																															
	Control de eventuales pérdidas de aceite desde los grupos hidráulicos																															
	Control de eventuales pérdidas de aceite en los cilindros de cierre																															
	Control de los tubos oleodinámicos de los cilindros de cierre																															
	Control del tensado de la cadena de ajuste de la altura de los moldes																															
	Control del paralelismo entre planos móvil y plano fijo																															
	Control de las boquillas de inyección																															
	Control de la alineación boquillas – orificios de inyección en los moldes																															
	Control del buen funcionamiento de los fines de carrera de los inyectores																															
	Control de las zonas de temperatura																															
	Control la estanqueidad de válvulas y juntas de cilindros																															
	Control del nivel de aceite en la copa del aceite de lubricación del aire comprimido																															
	Control de lubricación de la instalación del aire																															
	Control del funcionamiento de los ventiladores																															
Control del funcionamiento de la instalación de enfriamiento																																
Control de la eficiencia del dispositivo de seguridad mecánico para el cierre de la prensa																																

Fuente: Autor

Tabla 44.- Gama de mantenimiento mes de DICIEMBRE

MÁQUINA	ACTIVIDADES	DICIEMBRE																			
		2	3	4	5	6	9	10	11	12	13	16	17	18	19	20	23	24	26	27	30
INYECTORA DE POLÍMERO HORIZONTAL	Limpieza General de la Máquina																				
	Limpieza de los conductos de inyeccion																				
	Limpieza de Moldes																				
	Limpieza de las Columnas de las Guías Anti-rotación																				
	Limpieza de las guías de deslizamiento																				
	Limpieza de las tolvas																				
	Engrase de las guías y correderas del tender inferior																				
	Engrase de la cadena de ajuste de la altura de los moldes																				
	Engrase de la rosca de las columnas de las prensas																				
	Engrase de la palanca acodada (si la maquina no dispone de lubricación automática)																				
	Control de la circulación del agua en el intercambiados																				
	Control de las condiciones de las mangueras de caucho de aspiración de las bombas																				
	Control de la junta motor - bomba																				
	Control del nivel de aceite de la central oleodinámica																				
	Control de las condiciones de todos los tubos flexibles del circuito hidráulico																				
	Control de la eficiencia del termostato																				
	Control de la eficiencia del indicador eléctrico de nivel mínimo de aceite																				
	Control de eventuales perdidas de aceite desde los grupos hidráulicos																				
	Controles de eventuales perdidas de aceite en los cilindros de cierre																				
	Control de los tubos oleodinámicos de los cilindros de cierre																				
	Control del tensado de la cadena de ajuste de la altura de los moldes																				
	Control del paralelismo entre planos móvil y plano fijo																				
	Control de las boquillas de inyección																				
	Control de la alineación boquillas – orificios de inyección en los moldes																				
	Control del buen funcionamiento de los fines de carrera de los inyectores																				
	Control de las zonas de temperatura																				
	Control la estanqueidad de válvulas y juntas de cilindros																				
	Control del nivel de aceite en la copa del aceite de lubricación del aire comprimido																				
	Control de lubricación de la instalación del aire																				
	Control del funcionamiento de los ventiladores																				
	Control del funcionamiento de la instalación de enfriamiento																				
Control de la eficiencia del dispositivo de seguridad mecánico para el cierre de la prensa																					

Fuente: Autor

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones:

Mediante el trabajo realizado se pudo identificar, a partir de una matriz AMFE, el estado actual de las máquinas inyectoras de polímero en la empresa, las cuales, según la matriz y el respectivo análisis realizado, se encuentran en un nivel aceptable de rendimiento debido a que el NPR es menor de 125, según los criterios de gravedad, ocurrencia y fallo que se determinaron para cada uno de los componentes de las máquinas inyectoras utilizando la NTP 679.

En general de las inyectoras se tuvo un promedio del NPR de 49, esto quiere decir que todo componente con un NPR mayor a este valor se encuentra en zona de criticidad por lo que se debe tomar las respectivas acciones de control para disminuir la probabilidad de fallo.

Los parámetros encontrados, según la NPT 331, para la distribución de Weibull fueron: tiempos de operación, parámetro de forma (β), parámetro de localización (γ) y parámetro de papel de Weibull (n). En el caso del modelo matemático para la inyectora 1 se obtuvo los valores de $\beta = 0.7722$, $\alpha = 229.5165$ y $\gamma = 0$ según la tabla 20; así también se encontraron los valores para el modelo gráfico de la misma: $\beta = 1.9$, $\gamma = 0$ y $n = 142$ según la tabla 27. para el caso de la inyectora 2 se obtuvieron los parámetros siguientes: de $\beta = 1.0043$, $\alpha = 193.9749$ y $\gamma = 0$ según la tabla 24; así también se encontraron los valores para el modelo gráfico de la misma: $\beta = 2.1$, $\gamma = 0$ y $n = 138$ según la tabla 30; estos valores varían según el método a aplicar ya que en el modelo matemático interviene el parámetro de localización mientras que en el modelo gráfico se encuentra el parámetro de papel de Weibull.

Se identificó que la fiabilidad de las inyectoras según el método Weibull, depende directamente del tiempo de operación de las mismas y de los parámetros encontrados, de esta manera se obtuvo que aplicando el modelo matemático se tiene una fiabilidad máxima de 93.65 % con un tiempo de operación de 28 h y una fiabilidad mínima de 21.89 % con un tiempo de operación de 317 h descrito en la tabla 21; en el modelo gráfico se obtuvo que la fiabilidad máxima es de 95.53 % con tiempo de operación de 28 h y la mínima de 1.01 % con un tiempo de operación de 317 h descritos en la tabla 28, cabe mencionar que estos valores de fiabilidad son de la inyectora 1. Para el caso

de la inyectora 2 se obtuvo, según el modelo matemático, una fiabilidad máxima de 85.79 % con un tiempo de operación de 29.5h, mientras que la mínima fue de 25.04 % con un tiempo de operación de 269h descritos en la tabla 25; en el modelo gráfico se obtuvieron fiabilidades de 96.16 % con un tiempo de operación de 29.5h siendo esta la máxima, mientras que la mínima fue de 1.72 % con un tiempo de operación de 269h descritos en la tabla 31.

Las gamas de mantenimiento se realizaron a partir de los datos obtenidos tanto en la matriz AMFE como en el análisis de fiabilidad, de estos datos se propuso realizar mantenimiento según las necesidades siendo estas: diarias, semanales, mensuales, semestrales y anuales; siendo 33 las actividades más importantes que se deben realizar antes, durante y después de cada mes. Las actividades que se escogieron fueron a partir de las indicaciones presentadas en el manual de la maquinaria y de los componentes más críticos determinados en la matriz AMFE.

Según la curva de la bañera (gráfico) y los valores obtenidos de β en el modelo matemático, las inyectoras de polímero se encuentran en la zona de mortalidad infantil (fallas tempranas) al poseer un valor $\beta < 1$, lo que corresponde a realizar un mantenimiento predictivo; así también, según los valores de β obtenidos en el modelo gráfico de Weibull nos indica que las inyectoras se encuentran en una zona de periodo útil (fallas aleatorias) al poseer un $\beta > 1$, esto correspondería a realizar un mantenimiento preventivo de las mismas.

4.2. Recomendaciones:

Para identificar los parámetros Weibull se recomienda utilizar ecuaciones de media, mediana, variación; con la finalidad de obtener datos más confiables para el cálculo de los parámetros que intervienen en la ecuación de Weibull para el modelo matemático, de la misma forma utilizar un programa de cálculo computarizado para llevar a cabo el cálculo de dichos parámetros.

Cuando se realice la búsqueda de los datos para la elaboración del estadístico, tratar de recolectar la información correcta y que sea lo más reciente para de esta manera llevar a cabo un análisis más actualizado del estado actual de las máquinas.

Tomar en consideración el uso de instrumentos de cálculo como Excel u otro software de cálculo matemático, con la finalidad de disminuir los tiempos para el cálculo de la fiabilidad en caso de poseer datos mayores a 20.

Considerar los parámetros adecuados cuando se realice el cálculo de Weibull por el método gráfico, ya que en el papel de Weibull intervienen muchos parámetros que no se utilizaron en este trabajo.

Realizar el estadístico de las máquinas con datos que sean lo más actuales posible, en lo posible datos que no sean más de dos años, debido a que esto ayudara a realizar el cálculo de los parámetros más actuales para llevar a cabo el tipo de mantenimiento.

Bibliografía:

- [1] R. Vergara, «*La Estadística en el Mantenimiento y Reemplazo Óptimo en el Control de Calidad*» [En Línea]. Available: http://mat.izt.uam.mx/mcmai/documentos/tesis/Gen.11-O/RAQUEL_VERGARA_LAZCANO.pdf
- [2] A. Pesantez, «*Elaboración de un plan anual de mantenimiento predictivo y preventivo de los equipos del proceso productivo que presenten un mayor índice de criticidad para una empresa empacadora de camarón*», [En Línea]. Available: <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/13353>
- [3] E. Pico, «*Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para la inyectora de poliuretano de la empresa calzado Marcia - Buffalo industrial*», [En Línea]. Available: <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/23111?mode=full>
- [4] «*Técnicas de mantenimiento industrial*», 5 de Agosto 2004, Editorial ALCIÓN. Madrid (Bimensual)
- [5] L. Flores, «*Plan de mantenimiento preventivo y correctivo para un despulsador de fruta (pulper) para la planta hortifrutícola Ambato Planhofa C.A*», [En Línea]. Available: <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/245/1/t297id.pdf>
- [6] C. Pérez y M. Salazar, «*Diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad*», Universidad del Oriente, Barcelona, Junio del 2009.

- [7] P. Medina, «*Diseño de un Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para una paletizadora de sacos de cemento,*» Universidad de Oriente, Puerto la Cruz, 2010.
- [8] R. Andogoya, «*Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) del Autotransformador de Pomasqui,*» Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2005.
- [9] C. Quinteros, J. Razzo, M. Solórzano y G. Rubio, «*Análisis y Diseño de un modelo experimental de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para el sector Industrial,*» ESPOL, Guayaquil.
- [10] *Fiabilidad: la distribución de Weibull*, NTP 331
- [11] *Análisis modal de fallos y efectos. AMFE*, NTP 679
- [12] PEMEX, «*SCO. Metodología de Análisis de Criticidad,*» [En línea]. Available: http://aprendizajevirtual.pemex.com/nuevo/guias_pdf/Guia_SCO_Analisis_Criticidad.pdf.
- [13] Córdoba D. «*El funcionamiento de la máquina inyectora de plástico.*» [En Línea]. Available: <https://www.quiminet.com/articulos/el-funcionamiento-de-la-maquina-inyectora-de-plastico-2643461.htm>
- [14] Román M. «*Maquinaria de Inyección de Plástico.*» [En Línea]. Available: <http://www.inyectorasplastico.com/>
- [15] *Acta de entrega del manual de uso*, MAINGROUP 2014

ANEXOS

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^a Tamborero del Pino
Ingeniero Industrial

CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES DE TRABAJO

Objetivo

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

Introducción

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

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

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

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

Características generales

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

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

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

siendo:

$\lambda(t)$ - Tasa de fallos

$R(t)$ - Fiabilidad

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

t - Tiempo

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

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

por lo que la fiabilidad será:

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

siendo :

t_0 - parámetro inicial de localización

η - parámetro de escala o vida característica

β - parámetro de forma

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

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

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

siendo la función densidad de probabilidad:

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

La tasa de fallos para esta distribución es:

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

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

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

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

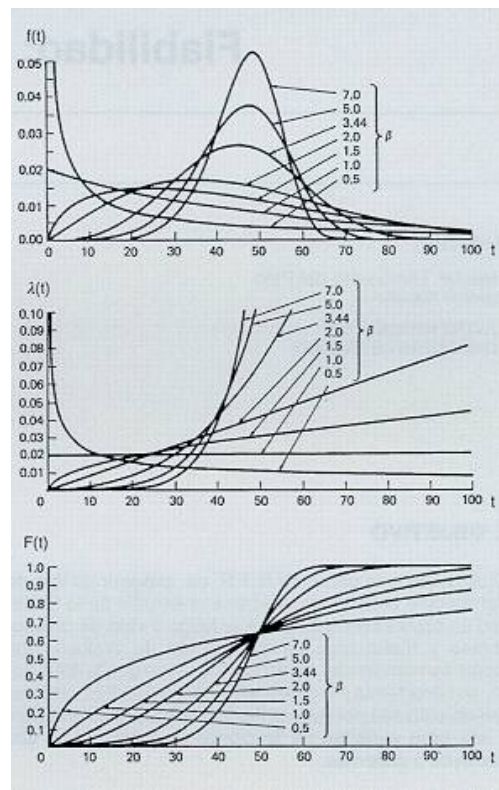


Fig. 1: Variación de la densidad de probabilidad $f(t)$, tasa de fallos $\lambda(t)$ y la función acumulativa de fallos $F(t)$ en función del tiempo para distintos valores del parámetro de forma β

Representación de los modos de fallo mediante la distribución de weibull

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

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

Análisis de Weibull

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

Resolución gráfica

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

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

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

Existen tres casos posibles en función del valor de t_0

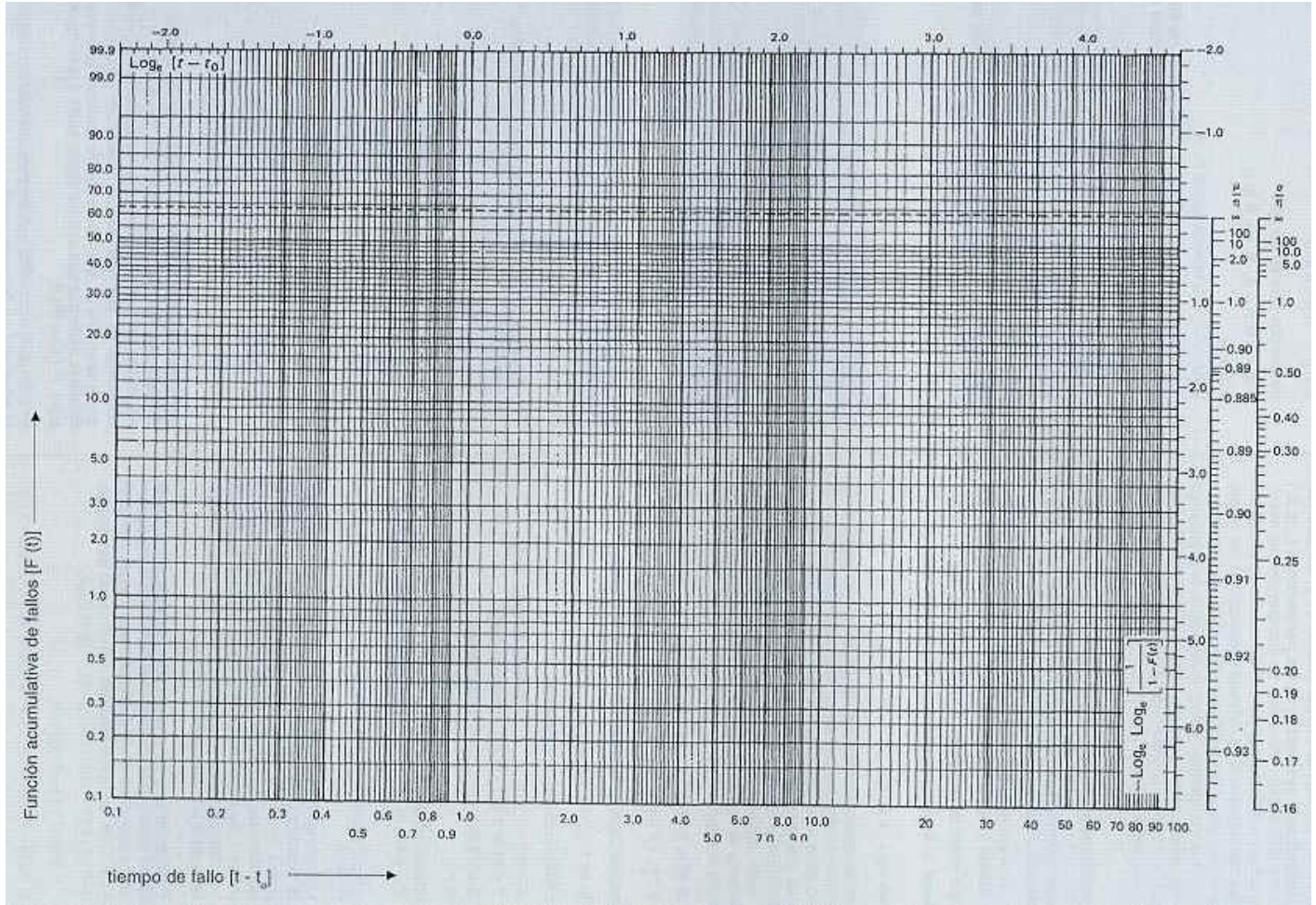


Fig. 2: Muestra del papel de Weibull

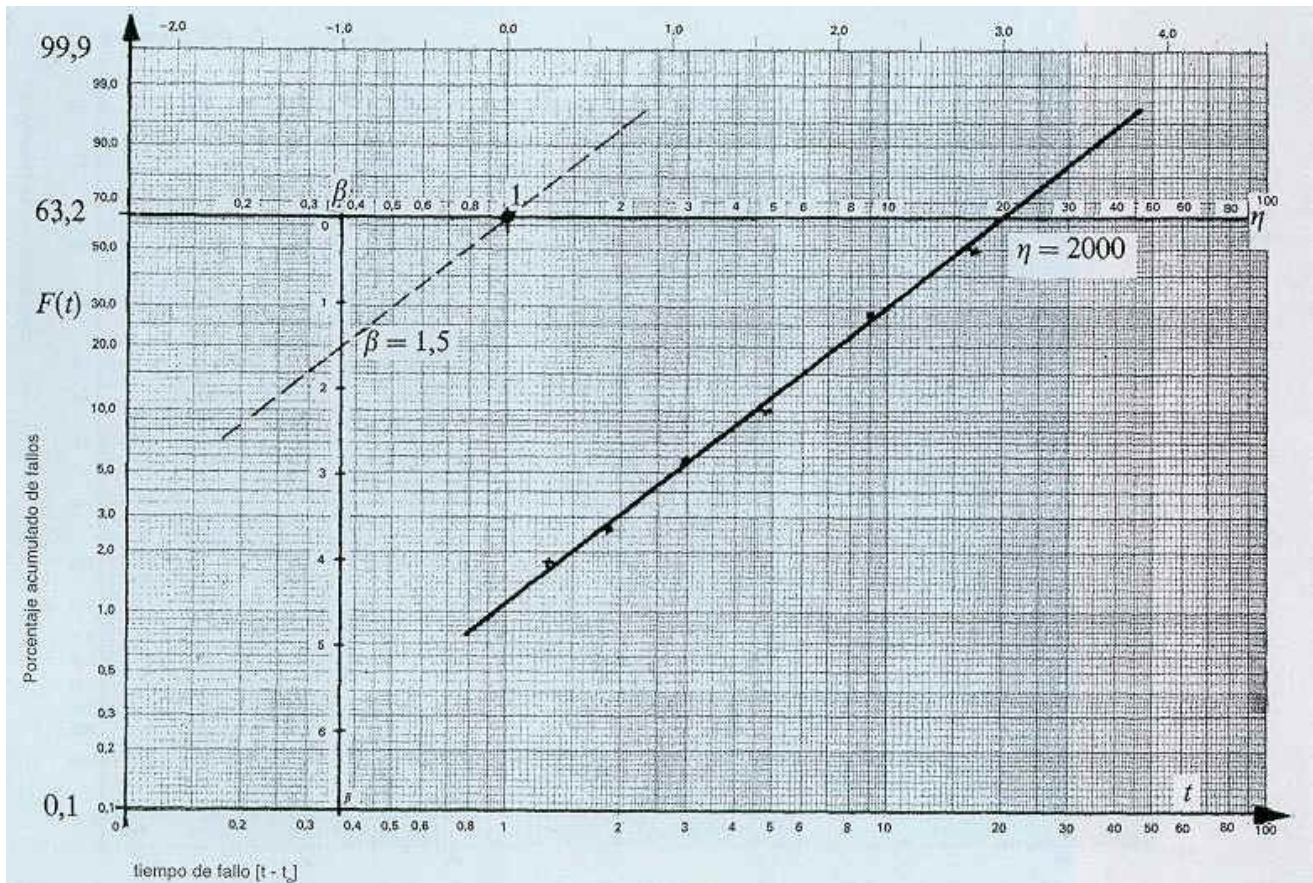


Fig. 3: Lectura de los parámetros h y β en el papel de Weibull

Caso de $t_0 = 0$

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

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

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

Tomando logaritmos neperianos por dos veces:

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

Si a esta igualdad le aplicamos

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

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

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

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

de donde tenemos:

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

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

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

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

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

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

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

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

tendremos que se cumple:

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

$$X = \ln \eta$$

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

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

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

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

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

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

Tabla 1: Fiabilidad

LEY DE WEIBULL:

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

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

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

β	$m/\eta = \Gamma(1+1/\beta)$	σ/η	β	$m/\eta = \Gamma(1+1/\beta)$	σ/η
0	∞	∞	2,0	0,8862	0,463
0,1	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	0,9649	0,878	3,1	0,8943	0,315
1,2	0,9407	0,785	3,2	0,8957	0,31
1,3	0,9235	0,716	3,3	0,8970	0,30
1,4	0,9114	0,659	3,4	0,8984	0,29
1,5	0,9028	0,613	3,5	0,8998	0,28
1,6	0,8966	0,594	3,6	0,9011	0,27
1,7	0,8922	0,530	3,8	0,9038	0,26
1,8	0,8893	0,512	4,0	0,9064	0,25
1,9	0,8874	0,486			

Ejemplo

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

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

Solución

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

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

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

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	0,5000	0,2929	0,2063	0,1591	0,1294	0,1091	0,0943	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 β ; por otro lado se puede ver gráficamente que η es igual a 12, que es el valor de la abscisa en el punto donde la recta trazada con los datos corta a la horizontal para $F(t) = 63.2$.

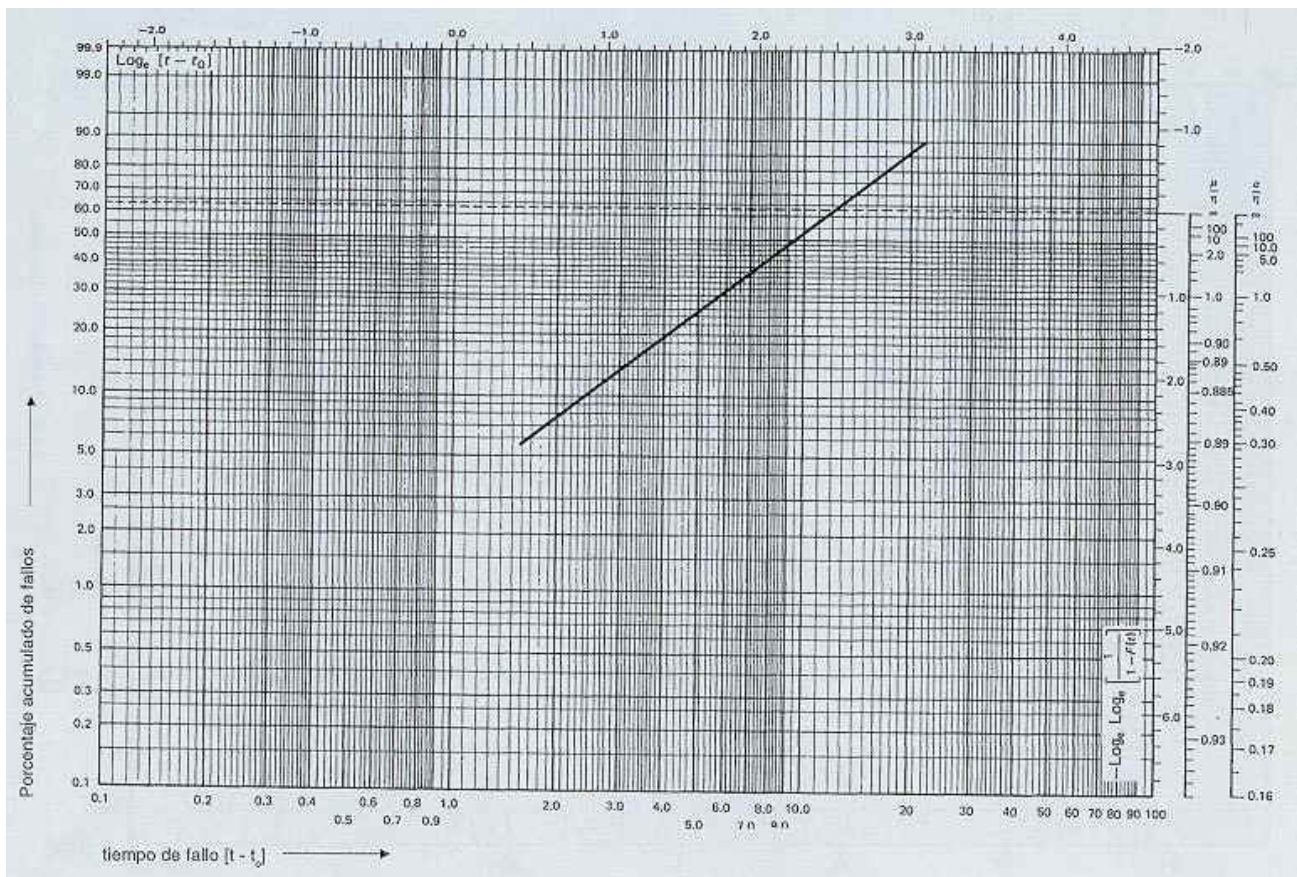


Fig. 4: Resolución gráfica del ejemplo

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

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

La fiabilidad para 12 meses será:

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

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

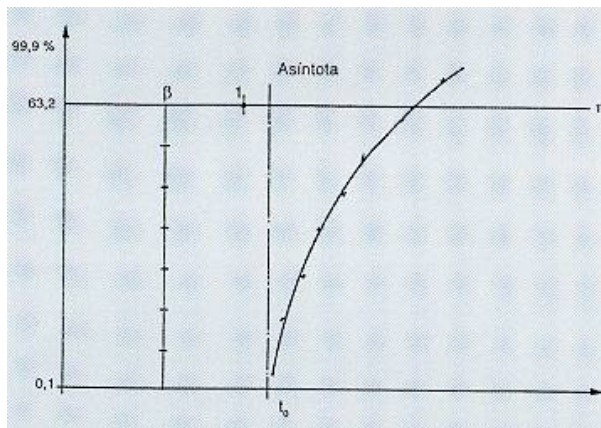


Fig. 5: Representación gráfica para el caso de $t_0 > 0$

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.

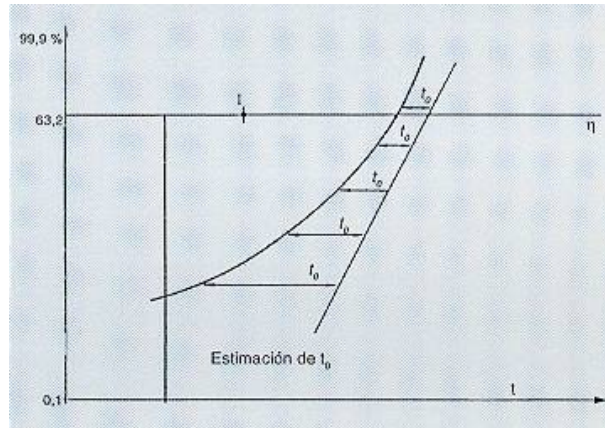


Fig. 6: Representación gráfica para el caso de $t_0 > 0$

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 .

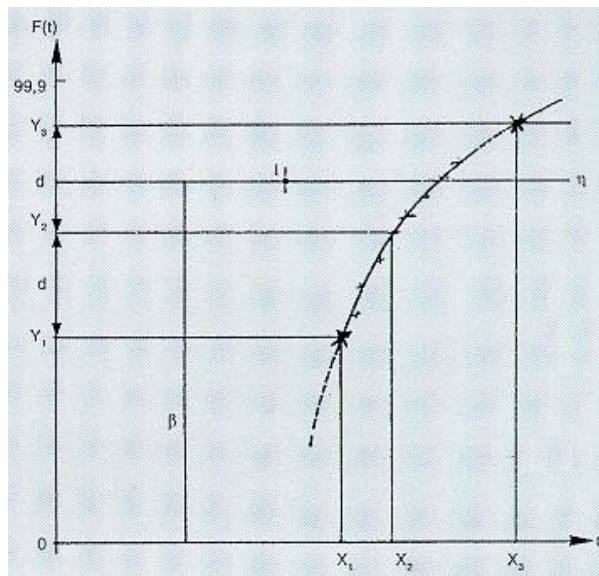


Fig. 7: Cálculo de t_0 por medio de transformaciones funcionales

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:

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

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

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

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

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

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

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

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

X_m es X medio asociado al Y_m obtenido.

De esta forma el valor de t_0 será :

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

Bibliografía

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

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

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

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

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

NTP 679: Análisis modal de fallos y efectos. AMFE

Analyse des modes de défauts et effets. AMDE

Failure Mode and Effect Analysis. FMEA

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

Redactores:

Manuel Bestratén Belloví
Ingeniero Industrial

Rosa M^a Orriols Ramos
Licenciada en Ciencias Químicas

CENTRO NACIONAL DE
CONDICIONES DE TRABAJO

Carles Mata París
Ingeniero Técnico

SEAT, S.A.

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

1. INTRODUCCIÓN

El AMFE fue aplicado por vez primera por la industria 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, entendiendo que los procesos se encuentran en todos los ámbitos de la empresa, desde el diseño y montaje hasta la fabricación, comercialización y la propia organización en todas las áreas funcionales de la empresa. Evidentemente, este método a pesar de su enorme sencillez es usualmente aplicado a elementos o procesos clave en donde los fallos que pueden acontecer, por sus consecuencias puedan tener repercusiones importantes en los resultados esperados. El principal interés del AMFE es el de resaltar los puntos críticos con el fin de eliminarlos o establecer un sistema preventivo (medidas correctoras) para evitar su aparición o minimizar sus consecuencias, con lo que se puede convertir en un riguroso procedimiento de detección de 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. Cumplimentar el formulario del AMFE, asegurando la fiabilidad de datos y respuestas por consenso.
9. Reflexionar sobre los resultados obtenidos y emitir conclusiones sobre las intervenciones de mejora requeridas.
10. Planificar las correspondientes acciones de mejora.

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

ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (A.M.F.E.)															
AMFE DE PROYECTO <input type="checkbox"/>		AMFE DE PROCESO <input type="checkbox"/>		DENOMINACIÓN DEL COMPONENTE / PARTE DEL PROCESO				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			

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.

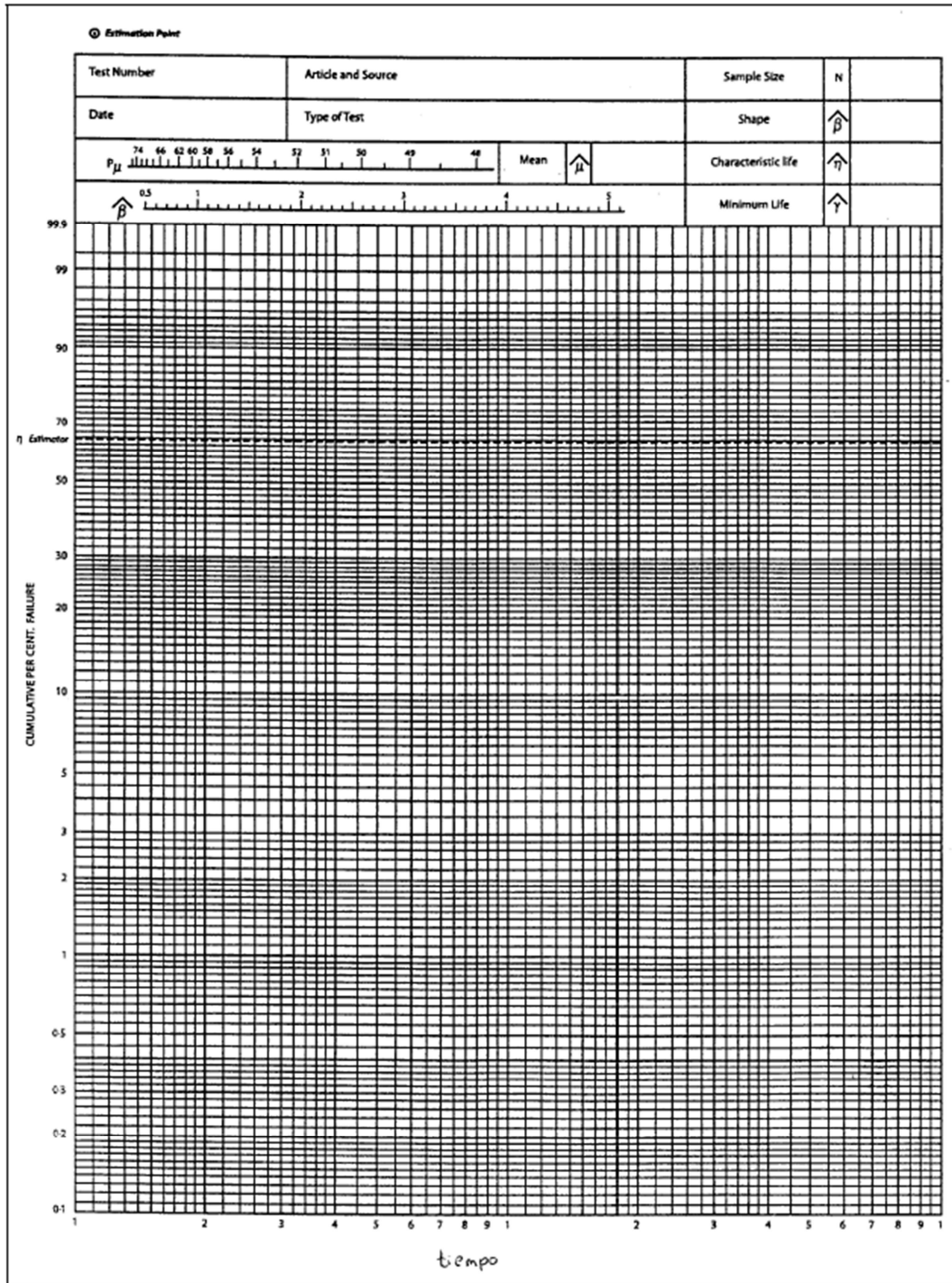
A título de ejemplo se muestra en la tabla 5 una hoja para la recogida de informaciones y datos de un AMFE, de acuerdo al contenido de esta Nota Técnica de Prevención. Se ha cumplimentado para una hipotética situación de análisis de la operación de soldadura mix en el proceso de prensas y chapistería 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

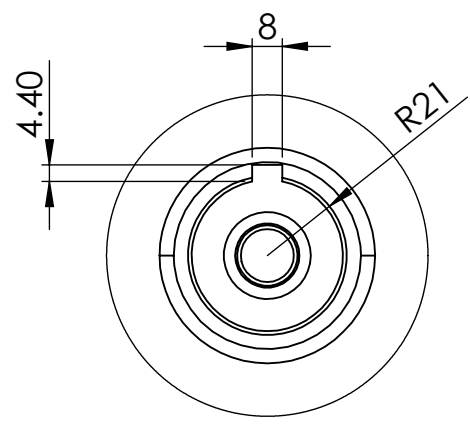
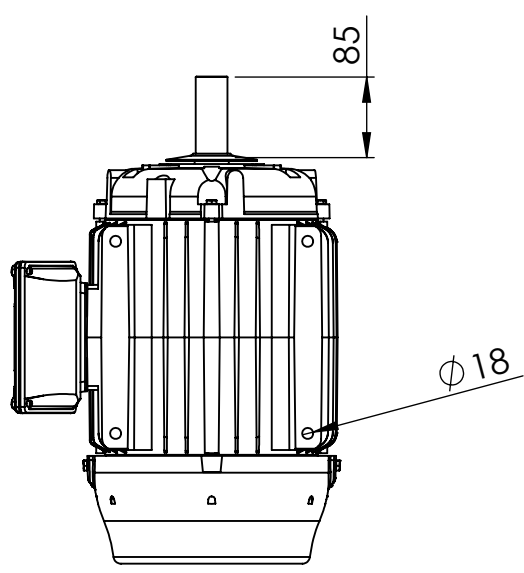
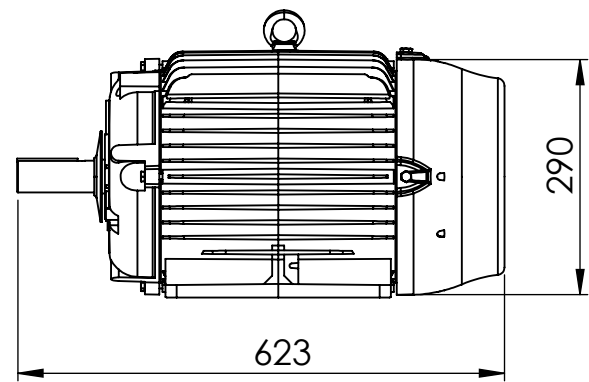
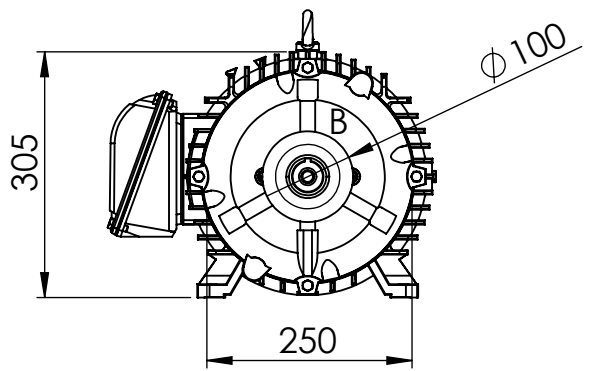
Nuestro agradecimiento a los Servicios de Prevención de Riesgos Laborales y de Calidad de la empresa SEAT, de Martorell (Barcelona), por su colaboración.

Anexo III.- Papel Weibull



Anexo IV.- Cálculo de rango medio acumulativo

i\N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	
1	0.5	0.2917	0.2059	0.1591	0.1296	0.1094	0.0946	0.0833	0.0745	0.0673	0.0614	0.0565	0.0522	0.0486	0.0455	0.0427	0.0402	0.038	0.0361	0.0343	0.0327	0.0313	0.0299	0.0287	0.0276	0.0265	0.0255	0.0246	0.0238	0.023	0.0223	0.0216	0.021	
2		0.7083	0.5	0.3864	0.3148	0.2656	0.2297	0.2024	0.1809	0.1635	0.1491	0.1371	0.1269	0.1181	0.1104	0.1037	0.0977	0.0924	0.0876	0.0833	0.0794	0.0759	0.0726	0.0697	0.0669	0.0644	0.062	0.0599	0.0578	0.0559	0.0541	0.0525	0.0509	
3			0.7941	0.6136	0.5	0.4219	0.3649	0.3214	0.2872	0.2596	0.2368	0.2177	0.2015	0.1875	0.1753	0.1646	0.1552	0.1467	0.1392	0.1324	0.1262	0.1205	0.1154	0.1107	0.1063	0.1023	0.0985	0.0951	0.0918	0.0888	0.086	0.0833	0.0808	
4				0.8409	0.6852	0.5781	0.5	0.4405	0.3936	0.3558	0.3246	0.2984	0.2761	0.2569	0.2403	0.2256	0.2126	0.2011	0.1907	0.1814	0.1729	0.1652	0.1581	0.1516	0.1457	0.1402	0.135	0.1303	0.1259	0.1217	0.1178	0.1142	0.1108	
5					0.8704	0.7344	0.6351	0.5595	0.5	0.4519	0.4123	0.379	0.3507	0.3264	0.3052	0.2866	0.2701	0.2554	0.2423	0.2304	0.2196	0.2098	0.2009	0.1926	0.185	0.178	0.1715	0.1655	0.1599	0.1546	0.1497	0.1451	0.1407	
6						0.8906	0.7703	0.6786	0.6064	0.5481	0.5	0.4597	0.4254	0.3958	0.3701	0.3476	0.3276	0.3098	0.2938	0.2794	0.2664	0.2545	0.2436	0.2336	0.2244	0.2159	0.208	0.2007	0.1939	0.1875	0.1815	0.1759	0.1707	
7							0.9054	0.7976	0.7128	0.6442	0.5877	0.5403	0.5	0.4653	0.4351	0.4085	0.3851	0.3641	0.3454	0.3284	0.3131	0.2991	0.2863	0.2746	0.2638	0.2538	0.2445	0.2359	0.2279	0.2204	0.2134	0.2068	0.2006	
8								0.9167	0.8191	0.7404	0.6754	0.621	0.5746	0.5347	0.5	0.4695	0.4425	0.4185	0.3969	0.3775	0.3598	0.3438	0.3291	0.3156	0.3031	0.2917	0.281	0.2711	0.2619	0.2533	0.2452	0.2377	0.2305	
9									0.9255	0.8365	0.7632	0.7016	0.6493	0.6042	0.5649	0.5305	0.5	0.4728	0.4485	0.4265	0.4065	0.3884	0.3718	0.3566	0.3425	0.3295	0.3175	0.3063	0.2959	0.2862	0.2771	0.2685	0.2605	
10										0.9327	0.8509	0.7823	0.7239	0.6736	0.6299	0.5915	0.5575	0.5272	0.5	0.4755	0.4533	0.433	0.4145	0.3975	0.3819	0.3674	0.354	0.3415	0.3299	0.3191	0.3089	0.2994	0.2904	
11											0.9386	0.8629	0.7985	0.7431	0.6948	0.6524	0.6149	0.5815	0.5515	0.5245	0.5	0.4777	0.4573	0.4385	0.4213	0.4053	0.3905	0.3768	0.3639	0.352	0.3408	0.3302	0.3204	
12												0.9435	0.8731	0.8125	0.7597	0.7134	0.6724	0.6359	0.6031	0.5735	0.5467	0.5223	0.5	0.4795	0.4606	0.4432	0.427	0.412	0.398	0.3849	0.3726	0.3611	0.3503	
13													0.9478	0.8819	0.8247	0.7744	0.7299	0.6902	0.6546	0.6225	0.5935	0.567	0.5427	0.5205	0.5	0.4811	0.4635	0.4472	0.432	0.4178	0.4045	0.392	0.3802	
14														0.9514	0.8896	0.8354	0.7874	0.7446	0.7062	0.6716	0.6402	0.6116	0.5855	0.5615	0.5394	0.5189	0.5	0.4824	0.466	0.4507	0.4363	0.4228	0.4102	
15															0.9545	0.8963	0.8448	0.7989	0.7577	0.7206	0.6869	0.6563	0.6282	0.6025	0.5787	0.5568	0.5365	0.5176	0.5	0.4836	0.4682	0.4537	0.4401	
16																0.9573	0.9023	0.8533	0.8093	0.7696	0.7336	0.7009	0.6709	0.6434	0.6181	0.5947	0.573	0.5528	0.534	0.5164	0.5	0.4846	0.4701	
17																	0.9598	0.9076	0.8608	0.8186	0.7804	0.7455	0.7137	0.6844	0.6575	0.6326	0.6095	0.588	0.568	0.5493	0.5318	0.5154	0.5	
18																		0.962	0.9124	0.8676	0.8271	0.7902	0.7564	0.7254	0.6969	0.6705	0.646	0.6232	0.602	0.5822	0.5637	0.5463	0.5299	
19																			0.9639	0.9167	0.8738	0.8348	0.7991	0.7664	0.7362	0.7083	0.6825	0.6585	0.6361	0.6151	0.5955	0.5772	0.5599	
20																				0.9657	0.9206	0.8795	0.8419	0.8074	0.7756	0.7462	0.719	0.6937	0.6701	0.648	0.6274	0.608	0.5898	
21																					0.9673	0.9241	0.8846	0.8484	0.815	0.7841	0.7555	0.7289	0.7041	0.6809	0.6592	0.6389	0.6198	
22																						0.9688	0.9274	0.8893	0.8543	0.822	0.792	0.7641	0.7381	0.7138	0.6911	0.6698	0.6497	
23																							0.9701	0.9303	0.8937	0.8598	0.8285	0.7993	0.7721	0.7467	0.7229	0.7006	0.6796	
24																								0.9713	0.9331	0.8977	0.865	0.8345	0.8061	0.7796	0.7548	0.7315	0.7096	
25																									0.9724	0.9356	0.9015	0.8697	0.8401	0.8125	0.7866	0.7623	0.7395	
26																										0.9735	0.938	0.9049	0.8741	0.8454	0.8185	0.7932	0.7695	
27																											0.9745	0.9401	0.9082	0.8783	0.8503	0.8241	0.7994	
28																												0.9754	0.9422	0.9112	0.8822	0.8549	0.8293	
29																													0.9762	0.9441	0.914	0.8858	0.8593	
30																														0.977	0.9459	0.9167	0.8892	
31																															0.9777	0.9475	0.9192	
32																																0.9784	0.9491	
33																																		0.979



DETALLE B
ESCALA 1 : 2

				TOLERANCIA: ±0.1	PESO: 140 Kg	MATERIAL: Varios		
						TÍTULO: Motor electrico	ESCALA: 1:5	
				DIBUJO: 05/06/2019	FECHA 05/06/2019		NOMBRE Ing. Christian Castro	
				REVISO: 05/06/2019	APROBO: 05/06/2019		Ing. Christian Castro	
				U.T.A. INGENIERIA MECANICA		N.º DE LAMINA HOJA 1 DE 8	REGISTRO:	
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCION:		

1

2

3

4

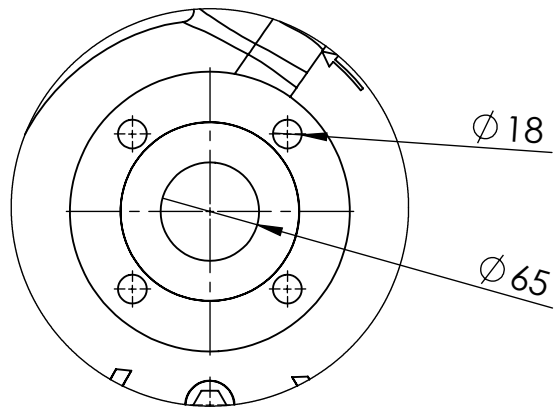
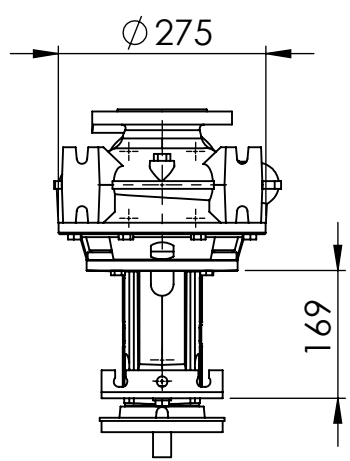
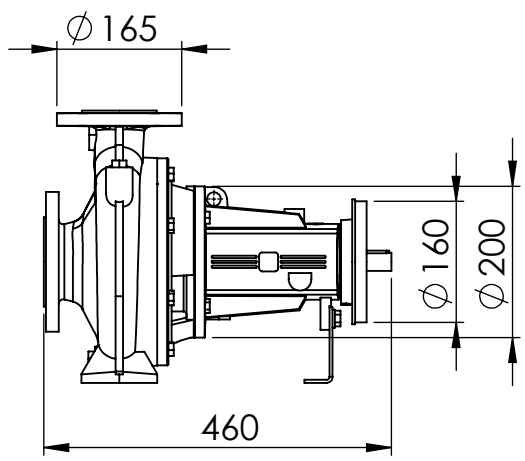
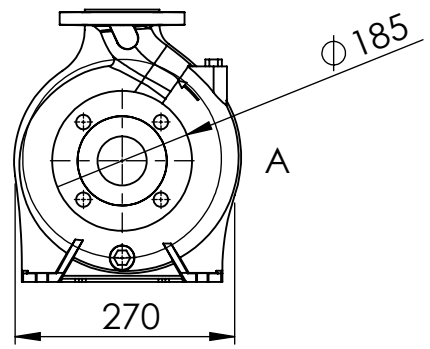
A

B

C

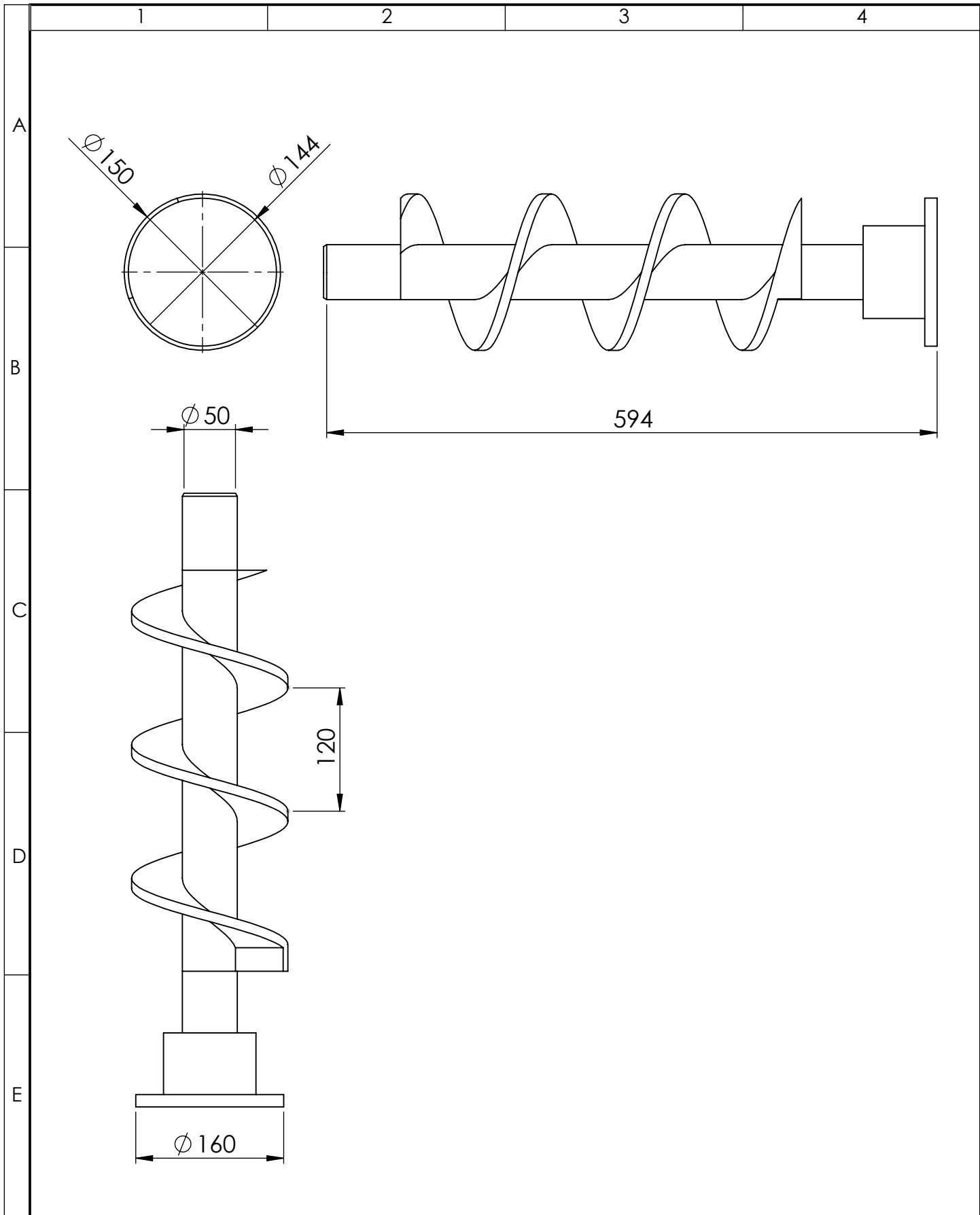
D

E

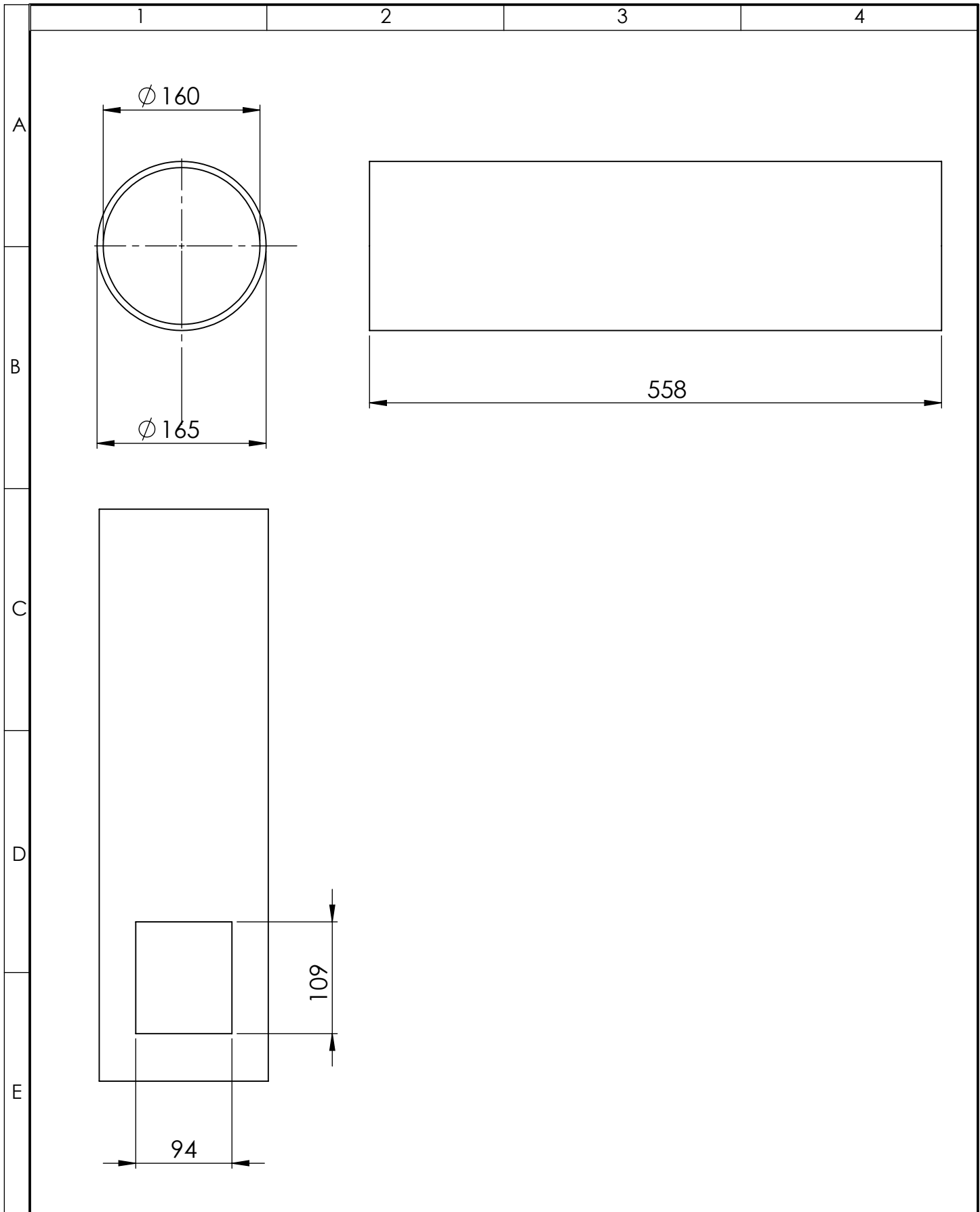


DETALLE A
ESCALA 1 : 5

				TOLERANCIA: ±0.1	PESO: 10 Kg	MATERIAL: Acero A36	
						TÍTULO: Acople Motor - Inyector	ESCALA: 1:5
				DIBUJO: 05/06/2019	Fernando Freire		
				REVISO: 05/06/2019	Ing.Cristian Castro		
				APROBO: 05/06/2019	Ing.Cristian Castro		
				U.T.A. INGENIERIA MECANICA		N.º DE LAMINA HOJA 2 DE 8	REGISTRO:
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCION:	



				TOLERANCIA: ± 0.1	PESO: 5 Kg	MATERIAL: Acero Inoxidable	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO: Husillo - Inyector	
				DIBUJO: 07/06/2019		ESCALA: 1:5	
				REVISO: 07/06/2019		REGISTRO:	
				APROBO: 07/06/2019		N.º DE LAMINA HOJA 3 DE 8	
				U.T.A. INGENIERIA MECANICA		SUSTITUCION:	
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:				



				TOLERANCIA: ± 0.1	PESO: 2 Kg	MATERIAL: Acero AISI-1018	
						TÍTULO: Cilindro - Inyector	ESCALA: 1:5
				DIBUJO: 05/06/2019	Fernando Freire		
				REVISO: 05/06/2019	Ing.Christian Castro		
				APROBO: 05/06/2019	Ing.Christian Castro		
				U.T.A. INGENIERIA MECANICA		N.º DE LAMINA HOJA 4 DE 8	REGISTRO:
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCION:	

1

2

3

4

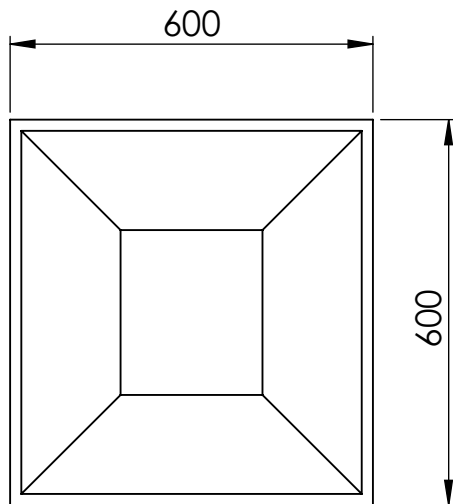
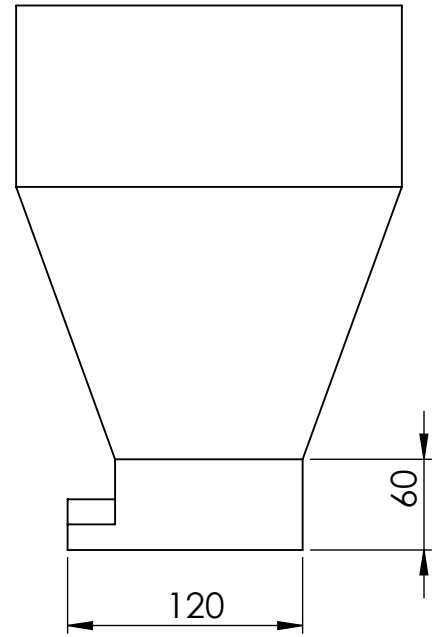
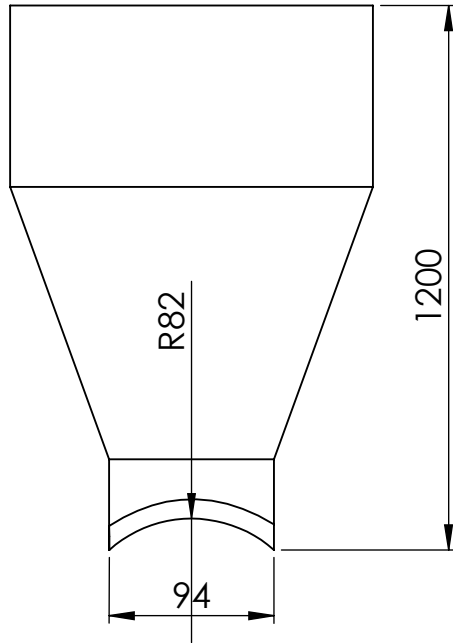
A

B

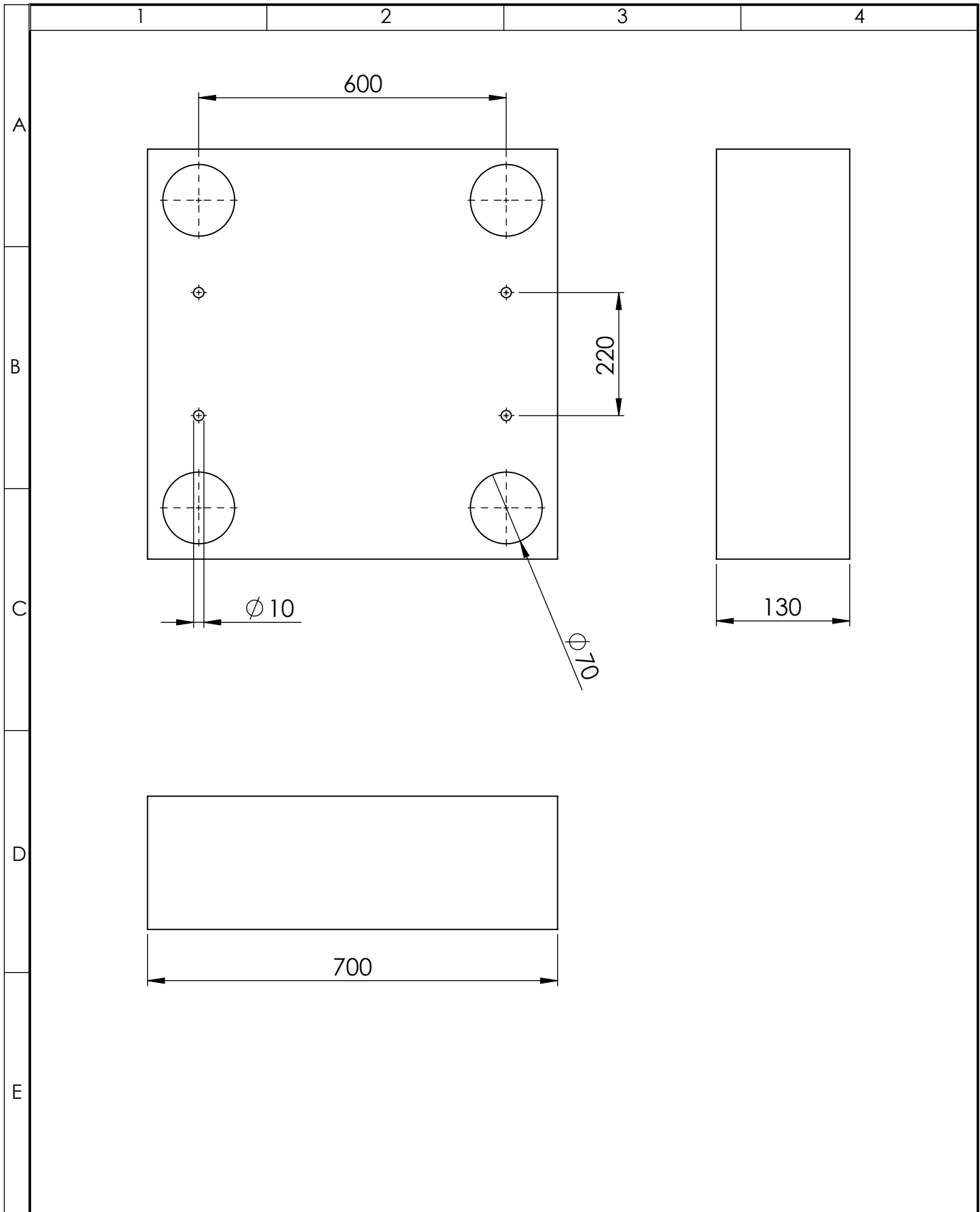
C

D

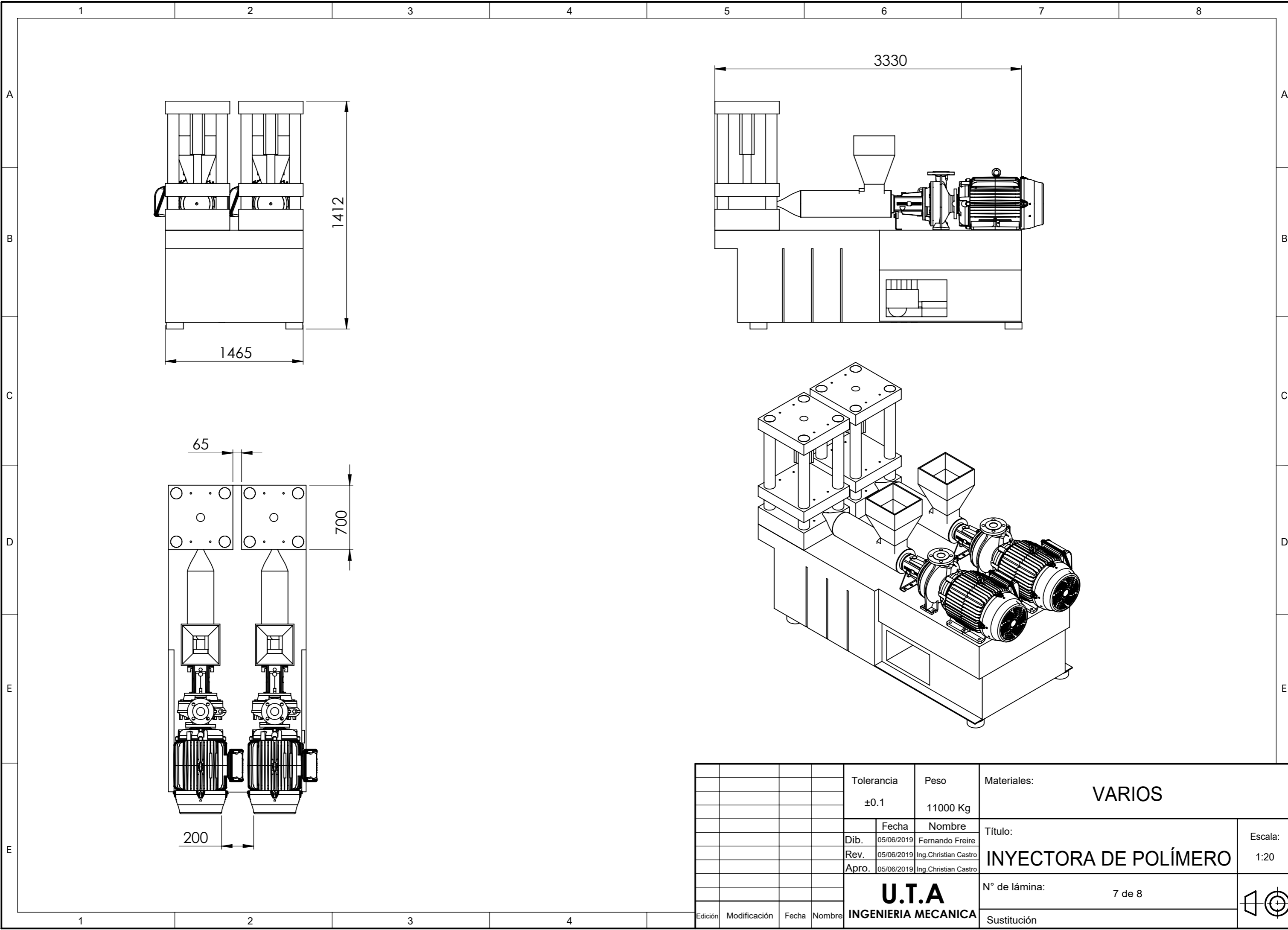
E



				TOLERANCIA: ±0.1	PESO: 2 Kg	MATERIAL: Acero A36	
						TÍTULO: Tolva	ESCALA: 1:5
				DIBUJO: 05/06/2019	Fernando Freire		
				REVISO: 05/06/2019	Ing.Christian Castro		
				APROBO: 05/06/2019	Ing.Christian Castro		
				U.T.A. INGENIERIA MECANICA		N.º DE LAMINA HOJA 5 DE 8	REGISTRO:
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCION:	

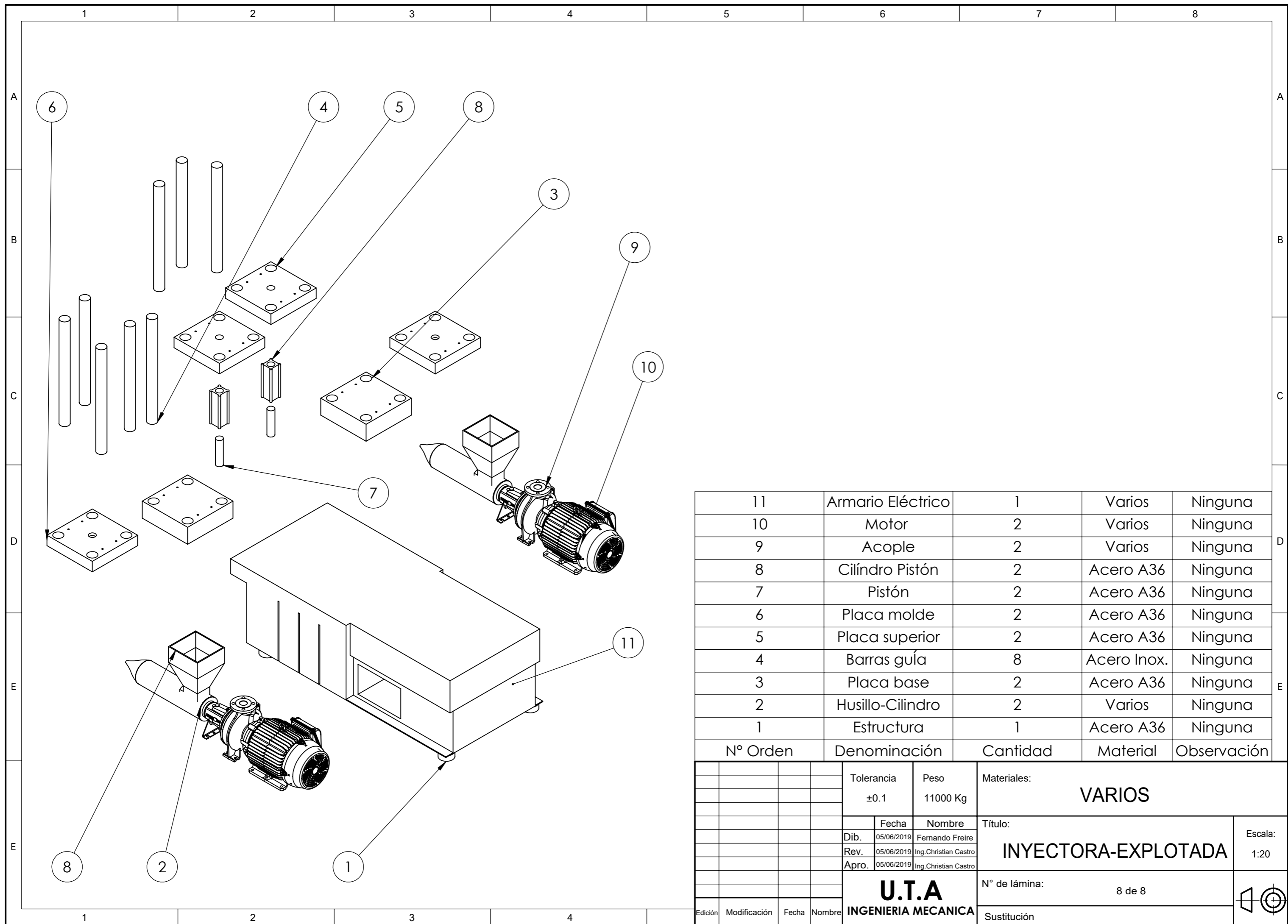


				TOLERANCIA: ±0.1	PESO: 10 Kg	MATERIAL: Acero A36	
						TÍTULO: Placa soporte	ESCALA: 1:5
				DIBUJO: 05/06/2019	Fernando Freire		
				REVISO: 05/06/2019	Ing.Christian Castro		
				APROBO: 05/06/2019	Ing.Christian Castro		
				U.T.A.		N.º DE LAMINA HOJA 6 DE 8	REGISTRO:
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			INGENIERIA MECANICA	SUSTITUCION:



				Tolerancia	Peso	Materiales:		VARIOS
				±0.1	11000 Kg			
					Fecha	Nombre	Título:	
				Dib.	05/06/2019	Fernando Freire	INYECTORA DE POLÍMERO	
				Rev.	05/06/2019	Ing.Christian Castro		
				Apro.	05/06/2019	Ing.Christian Castro		
				U.T.A INGENIERIA MECANICA			N° de lámina:	7 de 8
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				Sustitución	

Escala:
1:20



11	Armario Eléctrico	1	Varios	Ninguna
10	Motor	2	Varios	Ninguna
9	Acople	2	Varios	Ninguna
8	Cilíndro Pistón	2	Acero A36	Ninguna
7	Pistón	2	Acero A36	Ninguna
6	Placa molde	2	Acero A36	Ninguna
5	Placa superior	2	Acero A36	Ninguna
4	Barras guía	8	Acero Inox.	Ninguna
3	Placa base	2	Acero A36	Ninguna
2	Husillo-Cilindro	2	Varios	Ninguna
1	Estructura	1	Acero A36	Ninguna
N° Orden	Denominación	Cantidad	Material	Observación

Tolerancia ±0.1		Peso 11000 Kg		Materiales: VARIOS	
Fecha		Nombre		Título:	
Dib.	05/06/2019	Fernando Freire		INYECTORA-EXPLOTADA	
Rev.	05/06/2019	Ing.Christian Castro			
Apro.	05/06/2019	Ing.Christian Castro			
U.T.A INGENIERIA MECANICA				N° de lámina: 8 de 8	
				Escala: 1:20	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Sustitución	