



**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
MEDIANTE EL MÉTODO TPM PARA EL AREA DE PRODUCCIÓN EN
LAS SECCIONES DE INYECCION DE LA EMPRESA HALLEY
CORPORACIÓN C.L”**

Autor: Jairo Wladimir De la Cruz Chamba

Tutor: Ing. Mg. Christian Byron Castro Miniguano

AMBATO - ECUADOR

Julio – 2022

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Proyecto Técnico, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **“DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO MEDIANTE EL MÉTODO TPM PARA EL AREA DE PRODUCCIÓN EN LAS SECCIONES DE INYECCION DE LA EMPRESA HALLEY CORPORACIÓN C.L”**, elaborado por el Sr. Jairo Wladimir De la Cruz Chamba, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 1804020947, estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

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

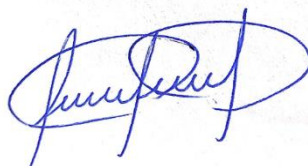
Ambato, Julio 2022

Ing. Mg. Christian Byron Castro Miniguano
TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, Jairo Wladimir De la Cruz Chamba, con C.I. 1804020947 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente proyecto técnico con el tema: **“DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO MEDIANTE EL MÉTODO TPM PARA EL AREA DE PRODUCCIÓN EN LAS SECCIONES DE INYECCION DE LA EMPRESA HALLEY CORPORACIÓN C.L”** así también las tablas, criterios, gráficas, conclusiones y recomendaciones son de mi total responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Julio 2022



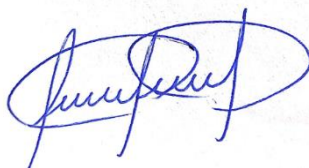
Jairo Wladimir De la Cruz Chamba
CI. 1804020947
AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

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

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

Ambato, Julio 2022



Jairo Wladimir De la Cruz Chamba
CI. 1804020947
AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Proyecto Técnico realizado por el estudiante Jairo Wladimir De la Cruz Chamba, de la Carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema: **“DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO MEDIANTE EL MÉTODO TPM PARA EL AREA DE PRODUCCIÓN EN LAS SECCIONES DE INYECCION DE LA EMPRESA HALLEY CORPORACIÓN C.L”**

Ambato, Julio 2022

Para constancia firman:

Ing. Mg. Oscar Iván Analuiza Maiza
Miembro Calificador

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

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación va dedicado para mis padres los cuales siempre confiaron en mis aptitudes y no me dejaron de apoyar en ningún momento.

Así mismo va dedicado a dios el cual siempre ha estado presente en todo momento de mi vida brindándome sabiduría para tomar las mejores decisiones en la vida.

Por último, va dedicado a mis hermanas las cuales me han demostrado su apoyo incondicional durante toda mi etapa de estudiante universitario.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a los docentes de la facultad de ingeniería civil y mecánica de la carrera de ingeniería mecánica los cuales me han ayudado a obtener un conocimiento adecuado de las materias impartidas por ellos, así mismo agradezco a mis compañeros de clases durante mi vida estudiantil.

De la misma manera agradezco de una manera especial al Ing. Mg. Christian Castro el cual ha sido mi tutor para el presente proyecto y me ha indicado los pasos a seguir para poder desarrollar de una manera adecuada las diferentes partes del proyecto

INDICE	
CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
INDICE DE FIGURAS.....	xi
INDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xiv
GLOSARIO	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
CAPITULO 1	1
MARCO TEORICO.....	1
1.1. Antecedentes investigativos	1
1.2. OBJETIVOS.....	3
1.2.1. Objetivo General	3
1.2.2. Objetivos Específicos	3
1.3. Fundamentación teórica	5
1.3.1. Generalidades de las máquinas inyectoras de plástico	5
1.3.1.1. Definición.....	5
1.3.1.2. Funcionamiento.....	5
1.3.1.3. Sistemas de las maquinas inyectoras de plástico.....	6
1.3.1.3.1. Sistema hidráulico	6
1.3.1.3.2. Sistema eléctrico.....	6
1.3.1.3.3. Sistema mecánico	7
1.3.2. Mantenimiento.....	8
1.3.2.1. Mantenimiento preventivo	8

1.3.2.1.1.	Categorías del mantenimiento productivo.....	8
1.3.2.1.2.	Ventajas del mantenimiento preventivo	9
1.3.2.2.	Mantenimiento correctivo	9
1.3.2.2.1.	Proceso de resolución del mantenimiento correctivo.....	10
1.3.3.	Mantenimiento Productivo total (TPM)	10
1.3.3.1.	Objetivo de las TPM	11
1.3.4.	Método de Weibull	12
1.3.5.	Matriz AMFE.....	12
1.3.5.1.	Gravedad	12
1.3.5.2.	Frecuencia	13
1.3.5.3.	Detectabilidad	14
1.3.5.4.	IPR (Índice de prioridad de riesgo).....	14
1.4.	Normas de seguridad para el uso de las maquinas inyectoras de plástico	15
CAPITULO II		16
2.1.	Metodología	16
2.2.	Materiales y recursos.....	16
2.2.1.	Recursos humanos:	16
2.2.2.	Recurso Materiales.....	16
2.2.3.	Recursos Económicos	17
2.3.	Métodos.....	17
2.3.1.	Nivel o tipo de investigación.....	18
2.3.1.1.	Explicativo	18
2.3.1.2.	Descriptivo	18
2.3.1.3.	Deductivo	18
2.4.	Actividades directrices para el desarrollo del proyecto	18
2.5.	Diagrama de flujo para el desarrollo del plan de mantenimiento	19
CAPITULO III		21
3.1.	Análisis de la situación actual	21
3.1.1.	Valoración externa	21
3.1.2.	Inventario de máquinas	21

3.1.3. Fichas técnicas y dossier de las maquinas inyectoras de plástico.....	24
3.1.4. Listado de componentes principales	30
3.1.5. Clasificación de los componentes	35
3.1.6. Esquema de la máquina inyectora de plástico.....	36
3.2. Mantenimiento parámetros.....	37
3.2.1. Mantenimiento autónomo	37
3.2.2. Mantenimiento planificado o progresivo	38
3.3. Determinación de la fiabilidad mediante el método de Weibull.....	38
3.3.1. Estadístico del mantenimiento anual de la máquina inyectora de plástico	38
3.3.2. Modelo matemático de Weibull.....	46
3.3.3. Método grafico de Weibull	53
3.4. Matriz AMFE.....	61
3.4.1. Matriz AMFE del sistema mecánico.....	61
3.4.2. Matriz AMFE del sistema de alimentación.....	65
3.4.3. Matriz AMFE del sistema de control	71
3.4.4. Matriz AMFE del sistema de refrigeración.....	73
3.4.5. Matriz AMFE del sistema hidráulico.....	76
3.4.6. Matriz AMFE del sistema eléctrico	79
3.5 Bitácoras de mantenimiento preventivo.....	85
3.5.1. Gama de mantenimiento del sistema mecánico	86
3.5.2. Gama de mantenimiento del sistema de alimentación	87
3.5.3. Gama de mantenimiento del sistema de control	88
3.5.4. Gama de mantenimiento del sistema de refrigeración	89
3.5.5. Gama de mantenimiento del sistema hidráulico	90
3.5.6. Gama de mantenimiento del sistema eléctrico.....	91
CAPITULO IV.....	93
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	93
5.1. Conclusiones	93
5.2. Recomendaciones.....	94
Bibliografía	96

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Sistema hidráulico de la máquina inyectora de plástico.....	6
Figura 2: Sistema eléctrico de la máquina inyectora de plástico.	7
Figura 3: Sistema mecánico de la máquina inyectora de plástico.....	7
Figura 4: Categorías del mantenimiento productivo.....	9
Figura 5: Diagrama de flujo para el plan de mantenimiento.....	20
Figura 6: Esquema maquina inyectora de plástico.....	36
Figura 7: Gráfica MTBF vs D.....	45
Figura 8: Gráfica MTTR vs D.....	45
Figura 9: Fiabilidad vs Tiempo de operación	52
Figura 10: Infiabilidad vs Tiempo de operación	52
Figura 11: Grafica de Weibull para las inyectoras.....	57
Figura 12: Grafica fiabilidad vs tiempo de operación método grafico	59

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de la gravedad.	13
Tabla 2: Clasificación de la frecuencia.	13
Tabla 3: Clasificación de la detectabilidad.	14
Tabla 4: Costos del proyecto.....	17
Tabla 5: Inventario de máquinas.....	22
Tabla 6: Ficha técnica máquinas Tianjian.....	25
Tabla 7: Ficha técnica máquinas Haitian.	26
Tabla 8: Ficha técnica máquinas Sandreto.....	27
Tabla 9: Ficha técnica máquinas Longsheng.	28
Tabla 10: Ficha técnica máquinas Demag.	29
Tabla 11: Ficha técnica máquinas Van Dorn.	30
Tabla 12: Partes principales de las máquinas inyectoras de plástico.	30
Tabla 13: Sistemas de las máquinas inyectoras de plástico.	35
Tabla 14: Disponibilidad de una máquina inyectora de plástico	40
Tabla 15: Datos estadísticos de la inyectora.	46
Tabla 16: Cálculos para obtener la varianza.	47
Tabla 17: Parámetros utilizados para el cálculo de Weibull.....	50
Tabla 18: Datos finales de Weibull.....	50
Tabla 19: Cálculo porcentaje de falla acumulativa $F(i)$	53
Tabla 20: Tabla de porcentajes de Weibull.....	57
Tabla 21: AMFE sistema mecánico	61
Tabla 22: AMFE sistema de alimentación.....	65
Tabla 23: AMFE sistema de control	71
Tabla 24: AMFE sistema de refrigeración.....	73
Tabla 25: AMFE sistema hidráulico	76
Tabla 26: AMFE sistema eléctrico.....	79
Tabla 27: Colores para las actividades de mantenimiento.....	85
Tabla 28: Gama de mantenimiento del sistema mecánico.....	86
Tabla 29: Gama de mantenimiento del sistema de alimentación.....	87
Tabla 30: Gama de mantenimiento del sistema de control.....	88

Tabla 31: Gama de mantenimiento del sistema de refrigeración.....	89
Tabla 32: Gama de mantenimiento del sistema hidráulico	90
Tabla 33: Gama de mantenimiento del sistema eléctrico	91

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Índice de prioridad de riesgo.....	14
Ecuación 2: Tiempo medio entre fallos.....	37
Ecuación 3: Tiempo medio de reparación.....	37
Ecuación 4: Disponibilidad.....	37
Ecuación 5: Valor de x medio.....	47
Ecuación 6: Varianza.....	47
Ecuación 7: Beta.....	47
Ecuación 8: Alfa.....	47
Ecuación 9: Infiabilidad.....	48
Ecuación 10: Fiabilidad.....	48
Ecuación 11: Rango medio.....	51
Ecuación 12: Fiabilidad método de Weibull.....	54

GLOSARIO

TPM: Mantenimiento Productivo total

AMFE: Análisis modal de fallos y efectos

IPR: Índice de prioridad de riesgos

F: Frecuencia

G: Gravedad

MTBF: Tiempo medio entre fallos sucesivos siendo n el número de datos.

MTTR: Tiempo medio de reparación siendo n el número de datos.

λ : Tasa de fallos

μ : Tasa de reparación

D: Disponibilidad

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)

F(i): Falla acumulativa

RESUMEN

El presente proyecto técnico fue tomado en cuenta para lograr satisfacer las necesidades de la empresa “HALLEY CORPORACION C.L.” la cual consiste en mejorar las actividades de mantenimiento de las máquinas inyectoras de plástico las cuales colaboran en la producción de diferentes tipos de productos los cuales son generados dentro de la empresa, para la elaboración del proyecto fue necesario desarrollar un enfoque en base a la fiabilidad para posteriormente poder desarrollar las diferentes actividades de mantenimiento.

Para lograr identificar los diferentes fallos que pueden existir en las máquinas se ha utilizado la norma NTP 679 la cual nos facilitó información sobre los análisis de fallos en sus diferentes partes, para el análisis por el método de Weibull se ha utilizado la norma NTP 331 la cual nos ayudó a determinar el tiempo de buen funcionamiento.

Finalmente, el producto final del proyecto nos presenta un plan de mantenimiento anual el cual está distribuido en 6 gamas las cuales nos indican las actividades de mantenimiento preventivo a desarrollarse en los diferentes sistemas que componen las máquinas inyectoras de plástico las cuales se encuentran en una etapa de mantenimiento infantil.

Palabras clave: Mantenimiento preventivo, Mantenimiento productivo, Máquinas Inyectoras, Weibull, plásticos.

ABSTRACT

This technical project was taken into account to meet the needs of the company "HALLEY CORPORACION C.L." which consists of improving the maintenance activities of the plastic injection machines which collaborate in the production of different types of products which are generated within the company, for the elaboration of the project it was necessary to develop an approach based on reliability to later be able to develop the different maintenance activities.

In order to identify the different failures that may exist in the machines, the NTP 679 standard has been used, which provided us with information on the analysis of failures in its different parts, for the analysis by the Weibull method, the NTP 331 standard has been used. which helped us determine the time of good operation.

Finally, the final product of the project presents us with an annual maintenance plan which is distributed in 6 ranges which indicate the preventive maintenance activities to be carried out in the different systems that make up the plastic injection machines which are in a stage child support.

Keywords: Preventive maintenance, Productive maintenance, Injection machines, Weibull, plastics.

CAPITULO 1

MARCO TEORICO

“DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO MEDIANTE EL METODO TPM PARA EL AREA DE PRODUCCIÓN EN LAS SECCIONES DE INYECCION DE LA EMPRESA HALLEY CORPORACIÓN C.L”

1.1. Antecedentes investigativos

Mediante la implementación de la metodología TPM se realizan indicadores de gestión los cuales deberán ser analizados para obtener mejoras continuas de los diferentes procesos de mantenimiento, así mismo se deberán crear formatos los cuales indican el tener una cultura de orden, se deberá capacitar al personal de mantenimiento para así poder tener eficiencia dentro de las actividades a desarrollarse para optimizar tiempos [1].

Para el mantenimiento productivo total se deben desarrollar un grupo de herramientas las cuales deben estar basadas en el mantenimiento preventivo de las diferentes maquinas las cuales deben ser desarrollas por el personal de mantenimiento o los operarios, las actividades de mantenimiento deben ser desarrolladas por personal capacitado el cual este consiente de las actividades a desarrollarse, para evitar pérdidas de tiempo dentro de las actividades mantenimiento se pretende detallar todas las actividades las cuales deben ser seguidas para tener un correcto mantenimiento preventivo [2].

La metodología utilizada está constituida por diferentes actividades las cuales deben ser realizadas de una manera consecutiva y se consideran estrategias las cuales ayudan a mejorar la competitividad y son capaces de eliminar las deficiencias dentro de los sistemas operativos, mediante la metodología utilizada en esta investigación se puede diferenciar las actividades lo cual ayudara a reducir los costes de mantenimiento y mejorar la calidad de los productos, el Mantenimiento Productivo Total va orientado a lograr diferentes metas [3]:

- Cero accidentes.
- Cero defectos.

- Cero averías.
- Cero pérdidas.

La metodología TPM se la puede aplicar dentro de cualquier empresa o industria sea esta de manufactura o de servicios en donde se requiera optimizar procesos y eliminar los desperdicios sean estos de tiempos o de materia prima, para poder implementar esta metodología se necesita una organización desde la alta dirección de la empresa hasta los operarios de la misma, para esta metodología el factor humano es de suma importancia ya que del dependerá el éxito o el fracaso de la implementación de este método, para lo cual se deben realizar capacitaciones con todo el personal para que así este motivado y sea entusiasta al momento de aportar a cambios dentro de la empresa [4].

La metodología para un Mantenimiento Productivo Total es inducida al ámbito industrial por medio de productores de repuestos automotrices por un grupo inversionista de mayor jerarquía para Toyota el cual es Depso, esto se implementó debido a la gran automatización de la empresa la cual iba creciendo de una manera exponencial al inicio esta empresa lo llamo como mantenimiento productivo para posteriormente rebautizarla como TPM (Mantenimiento Productivo Total) [5].

El termino TPM se empezó a utilizar en el año de 1971 cuando el instituto japonés para el mantenimiento de plata debió implementar el mantenimiento productivo total y este abarcaba diferentes ámbitos entre los cuales se debe destacar una cultura corporativa, un sistema de administración eficiente de la planta, disminuir o eliminar de manera rápida las pérdidas de tiempo, defectos, fallas y accidentes los cuales puedan afectar directamente a la producción [6].

Uno de los aspectos más fundamentales de la Gestión del Mantenimiento es la Gestión de los Recursos Humanos que es en donde se prioriza la metodología utilizada. El nivel de adiestramiento, estado organizativo, clima laboral y demás factores humanos adquiere una gran importancia dentro de la empresa ya que determinará la eficiencia del servicio o producto. En términos generales podemos resumir que las funciones del personal de mantenimiento son [7]:

Asegurar la máxima disponibilidad de los equipos de producción de la empresa al menor costo posible [7].

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

Desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo mediante el método TPM para el área de producción para las secciones de inyección de la empresa Halley Corporación C.L.

1.2.2. Objetivos Específicos

Investigar sobre las partes de una maquina inyectora de plástico y las funciones que estas desarrollan para el correcto funcionamiento de la máquina.

Se realizará una inspección de las máquinas inyectoras de plástico para poder determinar las partes de la misma y el estado en las que se encuentran, posteriormente se investigara dentro de las páginas web del fabricante y de los manuales las partes observadas para así poder conocer el funcionamiento de las mismas y sus diferentes fallas que pueden presentar durante el funcionamiento de la maquina en general.

Todas las partes que componen la maquina deberán ser detalladas mediante una hoja de Excel en la cual se podrá determinar la ubicación dentro de la máquina, el estado en el que se encuentra, y la acción que realiza para poder determinar posteriormente las fallas que pueden tener a corto o largo plazo.

Definir los parámetros para los mantenimientos preventivos según los manuales de las maquinas los cuales son proporcionados por el fabricante.

Se analizará los manuales de las máquinas inyectoras de plástico proporcionados por el fabricante los cuales nos ayudaran a entender los diferentes funcionamientos de cada una de las partes que componen las máquinas, dentro de los manuales podemos observar los diferentes sistemas que componen las maquinas entre los cuales destacan sistemas neumáticos, hidráulicos y de refrigeración los cuales en conjunto ayudan a la maquina durante todo el proceso de funcionamiento.

Los manuales de funcionamiento de las maquinas serán proporcionados por parte de la empresa ya que se encuentran dentro del repositorio de la misma y serán prestados por la empresa para poder realizar las investigaciones pertinentes para el presente proyecto.

Determinar la fiabilidad de las maquinas inyectoras de plástico mediante el método de Weibull.

Para poder determinar la fiabilidad de las maquinas se deberá utilizar la Nota técnica NTP 331 la cual nos ayuda a determinar tiempos necesarios y adecuados para realizar el mantenimiento preventivo de las máquinas y así poder detallar un historial de fallas las cuales puedan ser atendidas posterior al presente proyecto.

Desarrollar la matriz AMFE para así poder determinar los fallos más comunes de las máquinas y poder evaluar los componentes que fallan con más frecuencia dentro de la máquina.

Se utilizará la Nota técnica NTP 679 la cual nos indica el proceso para detallar la matriz AMFE en la cual se destaca los diferentes parámetros de las fallas entre los cuales tenemos: gravedad, frecuencia, detectabilidad a las cuales debemos proponer criterios y un valor numérico para obtener un análisis modal de fallos y efectos de las máquinas.

Elaborar las bitácoras de mantenimiento preventivo para las máquinas de inyección de plástico aplicando la metodología de TPM para obtener un correcto funcionamiento del área de producción.

Se analizará los principales criterios de la metodología TPM los cuales se detallan a continuación: mejoras enfocadas a la producción, un mantenimiento autónomo, realizar un mantenimiento planificado, tener un mantenimiento cualitativo, realizar un control previo a los mantenimientos, una administración la cual garantice eficacia al momento del mantenimiento, formación la cual deberá tener el personal de mantenimiento de la empresa y al final seguridad y medio ambiente para así evitar accidentes y evitar la contaminación con diferentes residuos.

En conjunto todos estos parámetros nos ayudarán a desarrollar las bitácoras de mantenimiento las cuales serán entregadas al personal de mantenimiento de la empresa para así poder aumentar la eficacia al momento de desarrollar las diferentes acciones de mantenimiento.

1.3. Fundamentación teórica

1.3.1. Generalidades de las máquinas inyectoras de plástico

En la actualidad las maquinas inyectoras de plástico son bastante utilizadas en el ámbito industrial ya que se pueden utilizar para crear diferentes productos, esto dependiendo del tipo de molde que se le pueda insertar a la máquina, existen diferentes tipos de máquinas inyectoras de plástico todo esto puede variar depende de las necesidades de la industria y el tipo de producto que se vaya a realizar en las mismas [8].

1.3.1.1. Definición

Una máquina inyectora de plástico es una máquina que utiliza un sistema de inyección la cual se encarga de insertar el plástico dentro de los moldes, esta máquina está formada por componentes mecánicos hidráulicos, eléctricos y electrónicos. Por uso de las máquinas están tienden a actualizarse y mejorar su funcionamiento para lograr satisfacer las necesidades de las industrias en las cuales se utilizan, como materia prima de estas máquinas se pueden utilizar material reciclado o materia prima nueva entre las cuales se destaca el polipropileno [9].

1.3.1.2. Funcionamiento

La función de una máquina inyectora de plástico es la de proveer una materia prima la cual puede ser plástico reciclado o material nuevo esta materia prima debe ingresar al molde de una manera líquida con temperaturas, velocidades y presiones adecuadas las cuales deben ser reguladas en base al producto que se esté desarrolland006F. Este tipo de máquinas funciona en base a tres principios básicos los cuales detallamos a continuación [10]:

- a) Se debe ingresar la materia prima dentro de la tolva de la máquina para que esta eleve las temperaturas para así fundir el plástico cuando ya haya ingresado dentro de la punta, para que este se encuentre de en forma líquida para posteriormente insertar presión e insertarla al molde [10].
- b) La materia prima que se encuentra en forma líquida con elevada viscosidad se procede a insertar al molde por medio de un canal diminuto, para poder insertar la

materia prima dentro del molde se debe proveer de una presión la cual se encargara de empujar el líquido hacia el molde [10].

- c) Una vez que el líquido está dentro del molde con elevada presión este tiende a enfriarse para luego solidificarse y tomar la forma del molde y así obtener el producto de una manera adecuada [10].

1.3.1.3. Sistemas de las maquinas inyectoras de plástico

La máquina inyectora de plástico consta de varios sistemas los cuales detallaremos a continuación:

1.3.1.3.1. Sistema hidráulico

El sistema hidráulico consta de válvulas de presión las cuales están colocadas para tener un valor máximo de presión de salida del aceite el cual se encarga de mover los cilindros hidráulicos que a su vez están conectados a los brazos mecánicos, este sistema consta de un tanque de aceite el cual puede variar en sus dimensiones que va desde un barril de aceite de capacidad hasta 3 barriles de capacidad, así mismo posee una bomba de aceite la cual se puede observar en la Figura 1 y está genera elevadas presiones para el funcionamiento del sistema [11].



Figura 1: Sistema hidráulico de la máquina inyectora de plástico.

Fuente: [11]

1.3.1.3.2. Sistema eléctrico

El sistema eléctrico de las maquinas inyectoras de plástico consta de un cable de alimentación de corriente para suministrar de 380 V los cuales están conectados a la red pública, así mismo existen inyectoras las cuales poseen un transformador para poder

abastecer al motor de la máquina que funciona con 480 V, este sistema tiene un botón de paro de energía ya que puede averiarse o realizar descargas eléctricas hacia los operadores, el sistema eléctrico se ubica en la parte baja de la inyectora como podemos observar en la Figura 2 [11].



Figura 2: Sistema eléctrico de la máquina inyectora de plástico.

Fuente: [11]

1.3.1.3.3. Sistema mecánico

El sistema mecánico de las maquinas inyectoras de plástico consiste en las partes móviles de la máquina y la estructura de la misma, como partes móviles de la maquina podemos detallar los brazos mecánicos los cuales son los encargados de cerrar el molde a base de presión la cual esta especificada en la Figura 3, también en el sistema mecánico podemos incluir la punta de inyección del plástico en forma líquida la cual realizar un movimiento de adelanto y retraso [11].

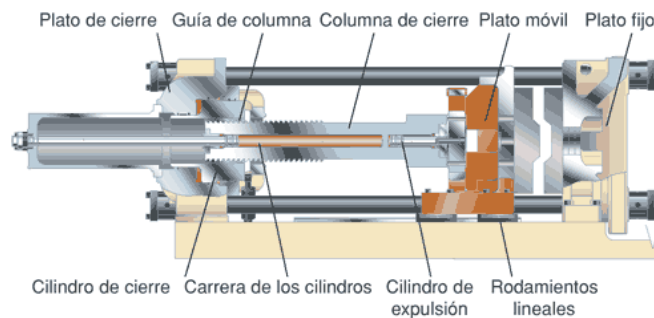


Figura 3:Sistema mecánico de la máquina inyectora de plástico.

Fuente: [11]

1.3.2. Mantenimiento

El mantenimiento se ha desarrollado desde las antigüedades, lo cual consiste en realizar una o un conjunto de actividades las cuales ayudaran a restablecer o mantener el correcto funcionamiento de las maquinas sobre las cuales se realizan las actividades. Este tipo de actividades deben ser estandarizadas y desarrolladas por personal capacitado el cual debe tomar acciones sobre las partes que se están desarrollando las actividades [12].

Dentro del el mantenimiento se pueden incluir actividades en donde se tenga que reparar o realizar revisiones de las maquinarias las cuales garantizaran el correcto funcionamiento de una planta industrial, para así poder conservar todo el sistema productivo de una empresa o planta industrial, así podemos definir que el mantenimiento industrial se puede definir como un conjunto de actividades las cuales garantizaran el buen estado funcional de máquinas para así poder alargar la vida útil de las mismas [13].

1.3.2.1. Mantenimiento preventivo

Se deciden como actividades ya programadas las cuales van desarrolladas hacia las maquinas en donde se prevé continuar con las operaciones de manera eficiente y segura, una vez desarrolladas estas actividades se pueden prevenir fallas y así poder evitar paros imprevistos en la producción [14].

Para poder desarrollar este tipo de mantenimiento se debe tener un plan de mantenimiento sea este de manera anual, semestral, trimestral, mensual, semanal o diario, estas actividades deben estar encaminadas a desarrollarlas cuando no se generen paros en la producción, así mismo se debe tener en cuenta el desarrollo de inspecciones periódicas, todas están actividades deben ser realizadas por personal capacitado, otra de las características de este mantenimiento es que se debe desarrollar dentro de las instalaciones de la empresa [14].

1.3.2.1.1. Categorías del mantenimiento productivo

El mantenimiento preventivo se divide en dos categorías las cuales están diferenciadas claramente y se basan en condiciones de operación de los equipos lo cual está basada en la operacionalidad del sistema mientras que el segundo grupo se basa en estadísticas y confiabilidad del sistema para lo cual se debe tener un registro de fallas que hayan ocurrido

con antelación en las maquinas o el sistema, estas categorías están detalladas en la Figura 4 [14]:

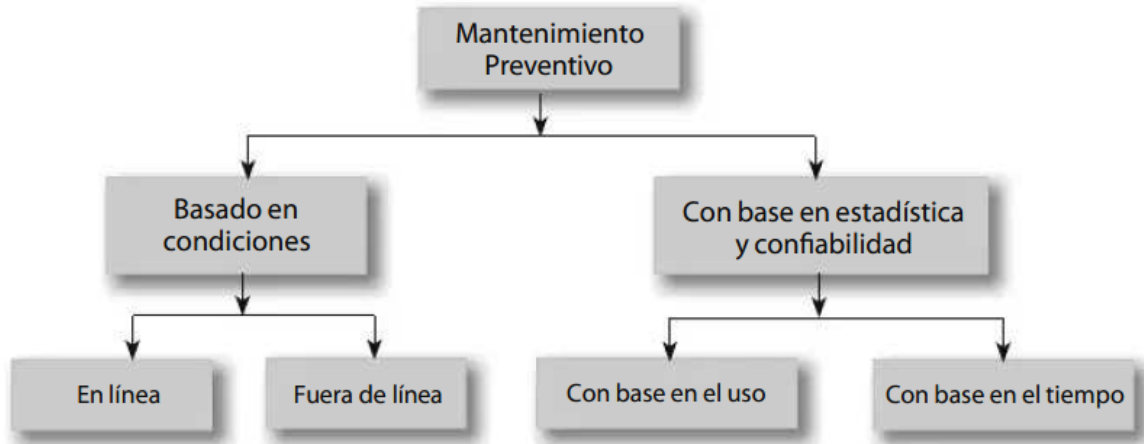


Figura 4: Categorías del mantenimiento productivo.

Fuente: [14]

1.3.2.1.2. Ventajas del mantenimiento preventivo

Este tipo de mantenimiento posee muchas ventajas las cuales vamos a detallar a continuación:

- No sé para la producción de la empresa por reparaciones o reconstrucciones.
- Mínimos costos durante el proceso de mantenimiento.
- Mejor control en la producción.
- Menor cantidad de productos rechazados durante el control de calidad.
- Mejoramiento de la seguridad para los operarios y maquinarias.
- Facilita el control de la producción.
- Menor costo en las refacciones [14].

1.3.2.2. Mantenimiento correctivo

Un mantenimiento correctivo son todas las actividades las cuales van encaminadas a corregir las fallas o las causas de las mismas, este tipo de mantenimiento se ejecuta cuando la maquina ha dejado de brindar servicio sea esto por paras de diferentes sistemas de la misma que se encuentran obsoletos o necesitan reparaciones, todas las activadas de

mantenimiento correctivo requieren una atención inmediata para que la empresa continúe con las actividades productivas [14].

Todas las actividades que se deben desarrollar en el mantenimiento correctivo no están detalladas ni planificadas en ningún plan de mantenimiento esto debido a que son fallas imprevistas y deben ser reparadas con el menor tiempo posible, ya que la maquina se encontrara fuera de servicio estas actividades deben ser desarrolladas por personal del área de mantenimiento el cual deberá ser perfectamente capacitado, la actividad principal dentro del mantenimiento correctivo es la reparación o cambio de diferentes elementos de máquinas [14].

1.3.2.2.1. Proceso de resolución del mantenimiento correctivo

Para realizar un mantenimiento se debe tener en cuenta varios factores los cuales y de igual manera la toma de decisiones para el mantenimiento y se toma el siguiente proceso:

- Ubicar e identificar el problema.
- Diagnosticar las causas del problema.
- Proponer decisiones.
- Evaluar y planear la solución.
- Establecer prioridades.
- Programar y realizar el mantenimiento.
- Dirigir y realizar el mantenimiento.
- Poner en funcionamiento y controlar la maquinaria [14].

1.3.3. Mantenimiento Productivo total (TPM)

Es un sistema de origen japonés que se refiere al mantenimiento preventivo industrial el cual fue creado por la empresa JPIM (Japan Institute of Plant Maintenance), este método se considera una serie de actividades las cuales ayudan a mejorar en competitividad de una organización industrial, también permite diferenciar la organización industrial lo cual ayudara a la reducción de costes dentro de los planes de mantenimiento así mismo mejorara los tiempos de para dentro del mantenimiento para así poder mejorar la calidad en los productos finales [15].

La empresa JPIM creadora del método TPM se ha enfocado en lograr los siguientes puntos:

- Cero accidentes.
- Cero defectos.
- Cero averías.
- Cero pérdidas.

Al lograr cumplir los puntos anteriormente mencionados se puede obtener productos de alta calidad y con menor costo dentro de la producción, para poder implementar este tipo de metodología se necesita la intervención de todos los departamentos existentes en la empresa para así lograr capacitar a todo el personal con lo cual estarán comprometidos en mejorar todos los aspectos de la empresa [15].

1.3.3.1. Objetivo de las TPM

Dentro de los objetivos al implementar las TPM podemos detallar varios sectores entre los cuales tenemos:

- **Objetivos estratégicos:**

En este ámbito las TPM ayudan a mejorar la productividad y a construir de mejor manera las capacidades competitivas dentro de las operaciones de la empresa, ayuda también a tener una mejor flexibilidad, disminuir los costos dentro de la producción [15].

- **Objetivos operativos:**

El objetivo principal dentro de lo operativo de las TPM son asegurarse que las máquinas operen sin averías para así poder minimizar los tiempos de producción, también podemos mejorar la fiabilidad de las máquinas y aprovechar al máximo la capacidad productiva instalada de la empresa [15].

- **Objetivos organizativos:**

Las TPM ayudan a mejorar el trabajo en equipo, mejoran el ambiente laboral, para así crear un ambiente de trabajo más armónico en donde se pueda tener una mejor eficiencia en la producción [15].

1.3.4. Método de Weibull

El método Weibull es una técnica la cual es utilizada para estimar probabilidades mediante datos los cuales son medidos o estimados, este método está ligado a valores que pueden representar tasas de fallo las cuales pueden ser crecientes, decrecientes o a su vez constantes, para poder desarrollar el método de Weibull se debe tomar en cuenta los valores que toma β ya que este puede tener 3 posibilidades las cuales son [16]:

- $\beta=1$ el modelo de Weibull se convierte en exponencial y tiene como característica una tasa de fallos constante.
- $\beta>1$ posee una tasa de fallos creciente.
- $\beta<1$ posee una tasa de fallos decreciente.

1.3.5. Matriz AMFE

Una matriz AMFE es aquella en la que podemos encontrar los diferentes componentes o sistemas de los equipos o máquinas, dentro de esta matriz podemos analizar la eficiencia de las máquinas lo cual nos servirá para posteriormente realizar mejoras continuas dentro de los procesos de fabricación [17].

La matriz AMFE también conocida como matriz de análisis modal de fallos y efectos, esta matriz nos ayuda a predecir los fallos que pueden ocurrir con una máquina o producto que se esté desarrollando, tiene como finalidad detallar los componentes de la maquina con los posibles fallos a los cuales se les debe plantear soluciones adecuadas para así poder evitar paras durante la producción, esta matriz debe ser utilizada durante todo el tiempo de vida útil del producto o la máquina sobre la cual está siendo utilizada [18].

Para realizar la matriz AMFE se debe tener en cuenta 3 aspectos importantes entre los cuales podemos definir: la gravedad, frecuencia y la detectabilidad de cada fallo que puede ocurrir en la máquina inyectora de plástico para esto tenemos valores numéricos que nos ayudaran a definir si cada fallo presentado puede tener una prioridad para ser resuelto o si la máquina podrá seguir laborando sin inconvenientes.

1.3.5.1. Gravedad

Con este valor podemos detallar la importancia que tiene un fallo dentro de la producción que realiza la máquina, para esto tenemos un valor numérico del 1 al 10 lo cual nos indica

que tan grave es el fallo, mediante la Tabla 1 la cual se presenta a continuación y es donde podemos detallar los valores que pueden ser tomados.

Tabla 1: Clasificación de la 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 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

1.3.5.2. Frecuencia

Mediante este valor numérico podemos determinar con qué frecuencia ocurre el fallo presentado dentro de la máquina para esto debemos tomar valores numéricos los cuales tienen un rango de 1 al 10 mientras el valor de esta variable se acerca más al 10 podemos definir que el fallo ocurre de manera recurrida y para esto podemos detallar en la Tabla 2 la cual nos ayudara a ubicar valores dentro de la matriz AMFE.

Tabla 2: Clasificación de la frecuencia.

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

1.3.5.3. Detectabilidad

Mediante el siguiente criterio se puede definir que con que probabilidad aparece supuestamente el fallo y este pueda ser detectado para así tomar acciones correctivas y poder evitar daños y así poder evitar paras durante la producción de la empresa, mediante la Tabla 3 la cual se presenta a continuación la cual nos ayudara a determinar los valores numéricos que se puede dar al presente parámetro, de la misma manera esta variable optara por tener valores del 1 al 10.

Tabla 3: Clasificación de la detectabilidad.

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

1.3.5.4. IPR (Índice de prioridad de riesgo)

Mediante este parámetro podemos definir el índice de prioridad para poder resolver los fallos que pueden existir en la máquina inyectora de plástico, para obtener este valor se debe tener en cuenta la siguiente formula:

$$IPR = D * G * F \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

IPR = Índice de prioridad de riesgo

D = Detectabilidad

G = Gravedad

F = Frecuencia

Luego de aplicar esta fórmula podemos obtener valores dentro de los cuales podemos detallar que aquellos valores sean mayores o iguales a 100 deberes ser tomados en cuenta de manera rápida para así poder corregirlos y no tener problemas luego en la producción, así mismo los valores que se obtienes y sean menores a 100 no deberían ser intervenidos salvo que el arreglo o reparación sea fácil y no requiera mucho tiempo de para en la producción.

1.4. Normas de seguridad para el uso de las maquinas inyectoras de plástico

Se debe tener en cuenta que el uso de máquinas inyectoras de plástico consta de muchos peligros sean estos mecánicos o eléctricos, y para evitar esto la maquina consta con varios sistemas de seguridad los cuales están clasificados como activos como por ejemplo el tener la puerta cerrada para que así se pueda cerrar el molde y pasivos como el botón de paro de emergencia el cual se ejecutara siempre y cuando se presione dicho botón.

Para el uso apropiado de este tipo de máquinas se debe proveer al operario de EPP (Equipo de Protección Personal) el cual deberá ser utilizado de manera permanente mientras este en operaciones de la máquina inyectora de plásticos, de la misma manera se deberá tener en cuenta que los sistemas de seguridad de la maquina deberán estar en óptimas condiciones para poder ser accionados de forma rápida.

Esta máquina consta con lugares muy estrechos sobre los cuales pueden ocurrir accidentes dentro los cuales podemos detallar que son zonas de peligro para así poder evitar la mayor cantidad de accidentes, de la misma manera existen lugares que se encuentran a elevadas temperaturas los cuales no deben ser tocados de manera directa lo cual sería causante de quemaduras y por ende se catalogan como accidentes laborales, para lo mismo se deberá utilizar guantes resistentes al calor.

Antes de empezar a operar las maquinas se deberá constatar que todos los componentes o sistemas se encuentren trabajando de una manera óptima la cual garantizará un producto de calidad y la seguridad del trabajador, otra de las características para el uso de máquinas inyectoras de plástico se deberá tener un lugar iluminado de manera adecuada, el lugar de trabajo deberá estar completamente limpio de polvo o impurezas.

CAPITULO II

2.1. Metodología

La recopilación de información se la realizara mediante el método de investigación bibliográfica, manuales de las maquinas inyectoras, libros sobre metodologías de mantenimiento preventivo., fichas técnicas y entrevistas al personal de mantenimiento de la empresa para poder determinar las fallas más comunes de las máquinas que se ocupan para elaborar productos plásticos de excelente calidad dentro de la empresa.

El mantenimiento productivo total (TPM) es originario en el país de Estados Unidos el cual empezó a desarrollarse en el año de 1950 y consiste en analizar las actividades parciales las cuales deben ser planificadas y están sustentas a tener cambios o sustituciones de las diferentes actividades a desarrollarse, este método necesita una planificación periódica la cual debe ser desarrollada mediante los manuales del fabricante o instructivos de mantenimiento [19].

2.2. Materiales y recursos

Para el presente trabajo de grado se ha necesitado de diferentes investigaciones y de recursos los cuales detallaremos a continuación:

2.2.1. Recursos humanos:

Personal encargado de la investigación entre los cuales se encuentra al autor y el docente tutor encargado de guiar al estudiante en el desarrollo del proyecto.

Autor: Jairo Wladimir De la Cruz Chamba

Tutor: Ing. Mg. Christian Castro

2.2.2. Recurso Materiales:

Medios físicos los cuales serán utilizados para elaborar el estudio y la elaboración de los planes de mantenimiento:

- Computador.
- Normas Nacionales e Internacionales.

- Internet.
- Biblioteca virtual y física.
- Manuales de las maquinas inyectoras de plástico.

2.2.3. Recursos Económicos:

Los recursos económicos van a ser sustentados por el autor del presente proyecto técnico se detallan en la Tabla 4:

Tabla 4: Costos del proyecto

Detalle	Valor
Gastos de movilización hacia la empresa	100
Internet	75
Equipos de computo	750
Electricidad	50
Alimentación cuando se visite la empresa	100
Normas a utilizarse	200
Manuales de las maquinas inyectoras de plástico	150
Material de librería	100
Total	1525

Fuente: [Autor]

2.3. Métodos

Para el presente el presente proyecto se deberá utilizar diferentes tipos de métodos de investigación entre los cuales podemos destacar los bibliográficos-documentales, así mismo podemos encontrar enfoques cuantitativos los cuales nos basaremos en horas de trabajo de las máquinas, estos datos tomados nos ayudarán a tomar decisiones sobre criterios lógicos que vayamos a aplicar los cuales deberán tener validez y ser confiables al momento de presentarlos.

Para realizar el plan de mantenimiento se debe recolectar datos del uso diario de las máquinas inyectoras de plástico, así mismo se deberá investigar y revisar los manuales de

uso de las maquinas los cuales nos ayudaran a un mejor entendimiento y el correcto mantenimiento de los diferentes sistemas que componen las inyectoras de plástico, para la toma de datos se debe estar en constante interacción con el personal de mantenimiento de la empresa.

2.3.1. Nivel o tipo de investigación

2.3.1.1. Explicativo

Este método es utilizado para conocer la realidad de sobre los mantenimientos preventivos realizados con anterioridad sobre las maquinas inyectoras de plástico, este método nos ayuda a determinar una solución eficiente.

2.3.1.2. Descriptivo

En este tipo de investigación trataremos de definir el diseño de la investigación mediante la creación de preguntas las cuales deben ser respondidas mediante datos que serán recolectados durante el presente proyecto.

2.3.1.3. Deductivo

Es un método de investigación el cual nos ayudara a realizar las conclusiones y recomendaciones del presente proyecto, todo esto en base a los datos obtenidos y a la información recopilada.

2.4. Actividades directrices para el desarrollo del proyecto

Para realizar el siguiente proyecto se detallar actividades las cuales nos ayudaran a realizar el plan de mantenimiento, para realizar el proyecto se tiene que realizar visitar periódicas a las instalaciones de la empresa HALLEY CORPORACION C.L. que es la empresa sobre la cual se van a realizar los planes de mantenimiento, a su vez se deberán realizar las siguientes actividades:

- Detallar las condiciones actuales de las máquinas inyectoras de plástico.
- Revisar manuales de usuario proporcionados por el fabricante.
- Elaborar la matriz AMFE en donde se proporcionará información de cada uno de los componentes y el estado de los mismos.
- Establecer los posibles daños que puedan ocurrir durante el funcionamiento de las máquinas.

- Determinar las actividades a desarrollarse para el mantenimiento preventivo de las maquinas inyectoras de plástico.

2.5. Diagrama de flujo para el desarrollo del plan de mantenimiento

Para poder desarrollar un plan de mantenimiento preventivo se debe tener en cuenta diferentes actividades, las cuales nos ayudaran a realizar las bitácoras de mantenimiento y las diferentes actividades las cuales deben constar dentro del plan para su correcto aplicativo y que funcione de una manera eficiente, en el Figura 5 se procede a detallar las actividades que se realizaran para el desarrollo del plan de mantenimiento.

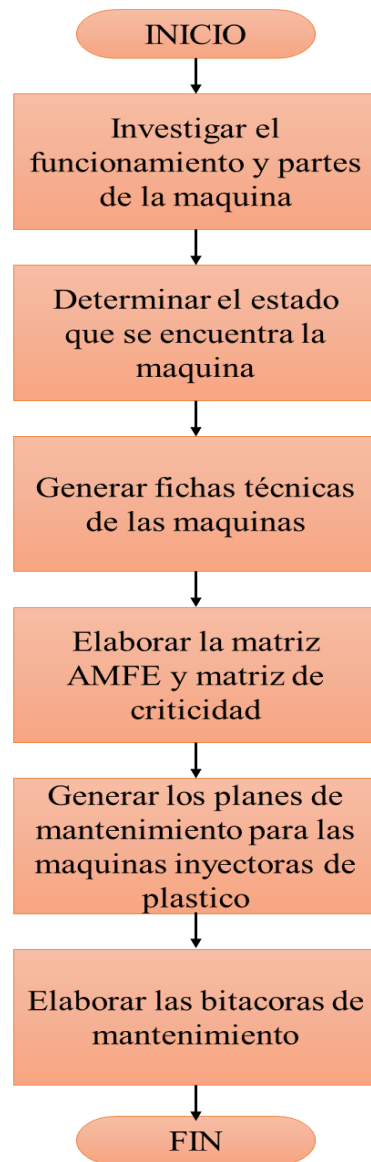


Figura 5: Diagrama de flujo para el plan de mantenimiento.

CAPITULO III

3.1. Análisis de la situación actual

Dentro de la empresa HALLEY CORPORACION C.L. se posee un total de 25 máquinas inyectoras de plástico, durante todo el tiempo de producción de la empresa las máquinas inyectoras de plástico son la parte esencial de la misma ya que en base a esta se puede realizar diferentes tipos de productos sobre los cuales está dedicada la empresa, los mantenimientos preventivos de las máquinas están detalladas en bitácoras las cuales están constituidas con anterioridad y para eso se tomaran un historial el cual consta dentro de la empresa.

3.1.1. Valoración externa

Las maquinas inyectoras de plástico que se encuentran dentro de la empresa existen en diferentes marcas y series las cuales serán detalladas de una manera minuciosa, estas máquinas están ubicadas mediante una distribución organizada dentro de la empresa, para evaluar de una manera externa las maquinas se lo realiza de manera visual en donde podemos observar el buen estado y el correcto funcionamiento de las máquinas, las cuales podemos definir que están en un buen estado.

Así mismo podemos observar los componentes mecánicos de las máquinas los cuales están cumpliendo las funciones para las cuales están destinadas, el resto de sistemas como el eléctrico, electrónico y el sistema hidráulico están funcionando de manera correcta.

3.1.2. Inventario de máquinas

La empresa HALLEY CORPORACION C.L. es una industria que se dedica a la fabricación de productos plásticos dentro de los cuales posee diferentes áreas dentro de la empresa, de la misma manera en el área de producción se puede definir en 3 secciones las cuales son: Sección de inyección, Sección de Troquelación, Sección de molinos.

La empresa posee diferentes tipos de máquinas para toda la clase productos que se realiza, para así poder garantizar la calidad de los mismos y así poder cumplir con las diferentes normas de calidad que posee la misma.

En la Tabla 5 se procede a desarrollar un inventario de las máquinas que se encuentran dentro de la empresa HALLEY CORPORACION C.L.

Tabla 5: Inventario de máquinas

	HALLEY CORPORACIÓN C.L		
	MANTENIMIENTO INDUSTRIAL		
	INVENTARIO DE MÁQUINAS		
	ELABORADO POR:	FECHA ELABORACIÓN:	CÓDIGO:
	Jairo de la Cruz	4/2/2022	IM-HC-001
	REVISADO POR:	FECHA DE REVISIÓN:	VERSIÓN:
	Ing. Christian Castro	16/2/2022	1.0
SECCIÓN DE INYECCIÓN			
Nombre de la máquina	Marca	Modelo	Codificación
Inyectora de plástico #1	TIANJIAN	20120701631744	MNT-INY001
Inyectora de plástico #2	HAITIAN	201107020031532	MNT-INY002
Inyectora de plástico #3	Sandreto	sette H.P	MNT-INY003
Inyectora de plástico #4	TIANJIAN	201207012031259	MNT-INY004
Inyectora de plástico #5	HAITIAN	201707016032795	MNT-INY005
Inyectora de plástico #6	Longsheng	11B00923	MNT-INY006
Inyectora de plástico #7	DEMAG	818-0226	MNT-INY007
Inyectora de plástico #8	HAITIAN	201707028031176	MNT-INY008
Inyectora de plástico #9	HAITIAN	201707016032795	MNT-INY009
Inyectora de plástico #10	TIANJIAN	201207012031259	MNT-INY010

Inyectora de plástico #11	TIANJIAN	201207012031259	MNT-INY011
Inyectora de plástico #12	Sandreto	sette H.P 95	MNT-INY012
Inyectora de plástico #13	HAITIAN	720B156XAS59	MNT-INY013
Nombre de la máquina	Marca	Modelo	Codificación
Inyectora de plástico #14	Sandreto	Otto	MNT-INY014
Inyectora de plástico #15	Sandretto	sette H.P 95	MNT-INY015
Inyectora de plástico #16	Sandretto	sette H.P 250	MNT-INY016
Inyectora de plástico #17	VAN DORN	1319	MNT-INY017
Inyectora de plástico #18	HAITIAN	201907025054945	MNT-INY018
Inyectora de plástico #19	Longsheng	LSF-398S	MNT-INY019
Inyectora de plástico #20	Longsheng	LSF-258S	MNT-INY020
Inyectora de plástico #21	Longsheng	LSF-258S	MNT-INY021
Inyectora de plástico #22	Longsheng	LSF-258S	MNT-INY022
ÁREA DE TROQUELACIÓN			
Nombre de la máquina	Marca	Modelo	Codificación
Troqueladora Hidráulica #1	ATOM	G999 sab	MNT-TRO-001
Troqueladora Hidráulica #2	ATOM	S120	MNT-TRO-002
Troqueladora Hidráulica #3	ATOM	S120	MNT-TRO-003
Troqueladora Hidráulica #4	ATOM	S120	MNT-TRO-004
Troqueladora Hidráulica #5	ATOM	BS920	MNT-TRO-005
Troqueladora Hidráulica#6	ATOM	BS920	MNT-TRO-006

Troqueladora O.ME.C	OMEC	S120C	MNT-TRO-007
Troqueladora de seguros	MNT-TRO-008
Troqueladora WEG	WEG	EMF-283	MNT-TRO-009
Troqueladora #1 ALTOR	AITOR	JMM	MNT-TRO-011
Cortadora de Simbra	MNT-COR-001
Nombre de la máquina	Marca	Modelo	Codificación
Túnel Termo encogedor	ECUAPACK	BS4525A	MNT-TS-004
Selladora Alta frecuencia	SEEMSA	MANUFACT	MNT-AFRE-001
ÁREA DE MOLINOS			
Nombre de la máquina	Marca	Modelo	Codificación
Molino #2	ALSTEELE	1213	MNT-MOL002
Molino #3	HELMOR COINC	6846MI	MNT-MOL003
Molino #4	WORTEX	LP400 S/N	MNT-MOL004
Molino #5	CONAIR	720004015	MNT-MOL005
Molino #6	RMONG	RG-2650	MNT-MOL006
Molino #7	HALLEY	HC-0001 M	MNT-MOL007
Molino #8	HALLEY	HC-0002 M	MNT-MOL008

3.1.3. Fichas técnicas y dossier de las máquinas inyectoras de plástico

En la Tabla 6 se detalla una ficha técnica que será utilizada para las máquinas inyectoras que poseen los códigos ya que poseen la misma marca y modelo:

MNT-INY001

MNT-INY004

MNT-INY010

MNT-INY011

Tabla 6: Ficha técnica máquinas Tianjian.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
MAQUINA	X	EQUIPO	HERRAMIENTA
			
Máquina inyectora de plástico			
CARACTERISTICAS GENERALES			
MARCA	TIANJIAN	DIMENSIONES (m)	4,30*1,00*1,30
SERIE	20120701631744	ENERGIA (v)	380
PROCEDENCIA	CHINA	ESTADO	Bueno
SISTEMAS GENERALES			
Sistema de Refrigeración		Sistema Eléctrico	
Sistema de lubricación		Sistema Mécanico	
Sistema Hidraulico		Sistema de Control	
<p>Función: Máquina utilizada para inyectar plástico a altas temperaturas y elevadas presiones dentro de un molde el cual es ubicado en su interior y se encarga de dar forma al producto.</p>			

En la Tabla 7 se detalla una ficha técnica que será utilizada para las máquinas inyectoras que poseen los códigos ya que poseen la misma marca y modelo:

MNT-INY002

MNT-INY005

MNT-INY008

MNT-INY009

MNT-INY013

MNT-INY018

Tabla 7: Ficha técnica máquinas Haitian.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
MAQUINA	X	EQUIPO	HERRAMIENTA
			
		Máquina inyectora de plástico	
CARACTERISTICAS GENERALES			
MARCA	HAITIAN	DIMENSIONES (m)	5,70*1,40*1,90
SERIE	201107020031532	ENERGIA (v)	380
PROCEDENCIA	China	ESTADO	Bueno
SISTEMAS GENERALES			
Sistema de Refrigeración		Sistema Eléctrico	
Sistema de lubricación		Sistema Mécanico	
Sistema Hidraulico		Sistema de Control	
<p>Fúncion: Máquina utilizada para inyectar plastico a altas temperaturas y elevadas presiones dentro de un molde el cual es ubicado en su interior y se encarga de dar forma al producto.</p>			

En la Tabla 8 se detalla una ficha técnica que será utilizada para las máquinas inyectoras que poseen los códigos ya que poseen la misma marca y modelo:

MNT-INY003

MNT-INY012

MNT-INY014

MNT-INY015

MNT-INY016

Tabla 8: Ficha técnica máquinas Sandreto.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
MAQUINA	X	EQUIPO	HERRAMIENTA
			
	CODIGO		Varios
	Máquina inyectora de plástico		
CARACTERISTICAS GENERALES			
MARCA	Sandreto	DIMENSIONES (m)	8,00*2,00*2,50
SERIE	sette H.P	ENERGIA (v)	380
PROCEDENCIA	China	ESTADO	Bueno
SISTEMAS GENERALES			
Sistema de Refrigeración		Sistema Eléctrico	
Sistema de lubricación		Sistema Mécanico	
Sistema Hidraulico		Sistema de Control	
<p>Fúncion: Máquina utilizada para inyectar plastico a altas temperaturas y elevadas presiones dentro de un molde el cual es ubicado en su interior y se encarga de dar forma al producto.</p>			

En la Tabla 9 se detalla ficha técnica que será utilizada para las máquinas inyectoras que poseen los códigos ya que poseen la misma marca y modelo:

MNT-INY006

MNT-INY019

MNT-INY020

MNT-INY021

MNT-INY022

Tabla 9: Ficha técnica máquinas Longsheng.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
MAQUINA	X	EQUIPO	HERRAMIENTA
			
		Máquina inyectora de plástico	
CARACTERISTICAS GENERALES			
MARCA	Longsheng	DIMENSIONES (m)	5,20*1,50*1,80
SERIE	11B00923	ENERGIA (v)	380
PROCEDENCIA	China	ESTADO	Buena
SISTEMAS GENERALES			
Sistema de Refrigeración		Sistema Eléctrico	
Sistema de lubricación		Sistema Mécanico	
Sistema Hidraulico		Sistema de Control	
<p>Función: Máquina utilizada para inyectar plástico a altas temperaturas y elevadas presiones dentro de un molde el cual es ubicado en su interior y se encarga de dar forma al producto.</p>			

En la Tabla 10 se detalla una ficha técnica que será utilizada para las máquinas inyectoras que poseen los códigos ya que poseen la misma marca y modelo:

MNT-INY007

Tabla 10: Ficha técnica máquinas Demag.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
MAQUINA	X	EQUIPO	HERRAMIENTA
			
		Máquina inyectora de plástico	
CARACTERISTICAS GENERALES			
MARCA	DEMAG	DIMENSIONES (m)	5,80*1,50*2,10
SERIE	818-0226	ENERGIA (v)	280
PROCEDENCIA	Italia	ESTADO	Buena
SISTEMAS GENERALES			
Sistema de Refrigeración		Sistema Eléctrico	
Sistema de lubricación		Sistema Mécanico	
Sistema Hidraulico		Sistema de Control	
<p>Función: Máquina utilizada para inyectar plástico a altas temperaturas y elevadas presiones dentro de un molde el cual es ubicado en su interior y se encarga de dar forma al producto.</p>			

En la Tabla 11 se detalla una ficha técnica que será utilizada para las máquinas inyectoras que poseen los códigos ya que poseen la misma marca y modelo:

MNT-INY017

Tabla 11: Ficha técnica máquinas Van Dorn.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
MAQUINA	X	EQUIPO	HERRAMIENTA
			
		CODIGO	MNT-INY017
		Máquina inyectora de plástico	
CARACTERISTICAS GENERALES			
MARCA	VAN DORN	DIMENSIONES (m)	6,00*1,50*2,30
SERIE	1319	ENERGIA (v)	380
PROCEDENCIA	U.S.A	ESTADO	Buena
SISTEMAS GENERALES			
Sistema de Refrigeración		Sistema Eléctrico	
Sistema de lubricación		Sistema Mécanico	
Sistema Hidraulico		Sistema de Control	
<p>Fúncion: Máquina utilizada para inyectar plastico a altas temperaturas y elevadas presiones dentro de un molde el cual es ubicado en su interior y se encarga de dar forma al producto.</p>			

3.1.4. Listado de componentes principales

En la Tabla 12 detallamos las partes de una máquina inyectora de plástico y las funciones que desarrollan cada una de ellas.

Tabla 12: Partes principales de las máquinas inyectoras de plástico.

N°	Componente	Función y/o característica
1	Tolva	Parte de la maquina encargada en de almacenar la materia prima para luego poder enviar al cañón donde se procederá a calentar para realizar el producto.
2	Control de nivel de materia prima	Costa de un vidrio transparente el cual se encuentra al costado de la tolva por donde se puede visualizar el nivel de materia prima que se encuentra en la tolva para así

N°	Componente	Función y/o característica
		proporcionar de más material a la máquina.
3	Extractor de materia prima	Lugar por donde se puede extraer la materia prima de la tolva antes de que ingrese al cañón, esto es utilizado cuando se vaya a cambiar de materia prima en la máquina y aun no se haya acabado la que se encuentra en la tolva.
4	Secador	Se encuentra ubicado en la parte superior de la tolva y se encarga de precalentar la materia prima para tener una mejor calidad del producto todo esto depende del producto que se esté fabricando.
5	Puertas	Son un mecanismo de seguridad de las maquinas mientras está en funcionamiento ya que si estas se encuentran abiertas la maquina no cerrara el molde.
6	Estructura	Lugar donde se ubica todas las partes de la maquina es esta se compone de perfiles con un espesor muy grande ya que deben soportar grandes pesos.
7	Bandeja de caída del producto	Se encuentra en la parte inferior de la máquina y es el lugar donde caen los productos que son elaborados en las máquinas para su posterior recolección.
8	Coraza	Planchas láminas de espesor fino la cual se encarga de proteger las partes internas de la máquina del polvo o algo extraño existente en el exterior.
9	Guías de la puerta	Lugar en donde descansan las puertas y de deslizan para así poder tener una movilidad muy fácil de manera lateral.
10	Rodamientos	Encargados de conectar a las puertas con las guías para que así se puedan desplazar de una manera rápida y fácil.
11	Finales de carrera	Sensor ubicado en un extremo de la puerta el cual indica a la computadora si la puerta se encuentra cerrada para así proceder al funcionamiento de la máquina caso contrario esta no funcionara.

N°	Componente	Función y/o característica
12	Cañón	Es el encargado de recibir la materia prima desde la tolva para en su interior calentarla y transformar en forma líquida para luego ingresar al molde.
13	Punta de cañón	Se encuentra en el extremo del cañón y es por donde sale la materia prima hacia el molde posee un agujero de un tamaño muy pequeño para así poder aumentar presión al momento de la salida del líquido.
14	Niquelinas	Es la encargada de calentar al cañón y a la punta con temperaturas ya determinadas las cuales son controladas desde el panel de control de la máquina.
15	Brazos hidráulicos	Son los encargados de cerrar el molde para que así pueda ingresar la materia prima en forma de líquido hacia el molde.
16	Ejes de desplazamiento	Ejes sobre los cuales se mueve la base del molde y son impulsados por el brazo neumático estos deben tener un acabado superficial de muy buena calidad para así reducir la fricción.
17	Bases del molde	Lugar en donde se puede ubicar los diferentes moldes los cuales varían depende del producto que va hacer producido, para asegurar el molde posee orificios los cuales son ajustados con pernos.
18	Expulsores	Partes de la maquina en forma de ejes los cuales ingresan dentro del molde para así poder expulsar al producto una vez que este hay esté formado en el interior del molde.
19	Panel de control	Es una pantalla en la cual se puede calibrar los diferentes parámetros los cuales varían depende el producto y el tipo de materia prima que se esté utilizando.
20	Bomba de aceite	Es la encargada de recoger el aceite del depósito de aceite y enviar hacia los cilindros neumáticos a elevadas presiones

N°	Componente	Función y/o característica
		para que estos funcionen.
21	Depósito de aceite	Lugar en donde se almacena el aceite para luego distribuirlo hacia los diferentes lugares de la maquina por medio de la bomba de aceite.
22	Filtro de aceite	Encargado de filtrar el aceite y en su interior retener impurezas u objetos extraños que se encuentren en el aceite para así poder tener el sistema en óptimas condiciones.
23	Mangueras de alta presión	Son las encargadas de recibir el aceite enviado por la bomba y transportarla hacia los cilindros, estas mangueras son de un material muy resistente para así poder soportar la alta presión generada por la bomba.
24	Graseros	Pequeños partes en forma de pernos sobre los cuales se puede ingresar grasa a presión para la lubricación de las partes móviles de la máquina.
25	Transformador eléctrico	La conexión de entrada de las maquinas son de 380v, pero estas funcionan con una alimentación de 480v para lo cual necesitan un transformador para poder abastecer las necesidades eléctricas de la misma.
26	Contactores	Dispositivo eléctrico el cual ayuda a cerrar o abrir circuitos mientras la maquina está en funcionamiento para cumplir con los diferentes movimientos y funciones de la misma.
27	Relés	Dispositivo eléctrico que funciona como un interruptor electromagnético y se encarga de controlar las salidas de potencia de la computadora.
28	Computadora	Parte fundamental de la maquina inyectora de plástico la cual se encarga de recibir los parámetros ingresados y dar órdenes a los diferentes sistemas o partes de la máquina para que esta funcione.
29	PLC	Es un controlador para maquinas industriales el cual se

N°	Componente	Función y/o característica
		encarga de recibir señales de los sensores y enviar señales las cuales deben ser ejecutadas por actuadores
30	Cables	Encargados de conectar los diferentes elementos eléctricos o electrónicos para que así estos reciban y ejecuten operaciones.
31	Socket	Ubicados en los finales de los cables para así poder conectar los mismo a los diferentes sensores o computadoras y así tener una mejor fijación.
32	Botón de paro de emergencia	Botón de seguridad encargado de parar la máquina de una manera rápida para así poder evitar accidentes.
33	Foco de paro de la maquina	Un foco que se encuentra en la parte superior de la maquina el cual se enciende cuando la maquina se para por algún motivo sea este por falta de material, puertas abiertas o daños en la misma.
34	Breaker	Utilizados como interruptor para el encendido y apagado de la máquina.
35	Tomas de agua	Encargadas de recibir el agua para enviar por medio de mangueras hacia los moldes para el enfriamiento de los mismos.
36	Llaves de agua	Encargadas de abrir o cerrar el paso del agua hacia las mangueras para que estas puedan realizar la refrigeración.
37	Mangueras de agua	Están conectadas en un extremo a las tomas toma de agua y el otro hacia el molde para que este se enfrié.
38	Bomba de agua.	Encargada de dar presión de agua para que esta pueda fluir de una manera rápida y complete el circuito de refrigeración del molde.

3.1.5. Clasificación de los componentes

En la Tabla 13 realizamos una codificación de las diferentes partes de la máquina inyectora de pastico y de los sistemas a los que pertenecen.

Tabla 13: Sistemas de las máquinas inyectoras de plástico.

Sistema mecánico		
N°	Codificación	Denominación componente
1	INY-MEC001	Motor eléctrico trifásico de 480v
2	INY-MEC002	Bases del molde
3	INY-MEC003	Pernos de sujeción del molde
4	INY-MEC004	Estructura de la máquina
5	INY-MEC005	Expulsores
6	INY-MEC006	Coraza
7	INY-MEC007	Ejes de desplazamiento
8	INY-MEC008	Bandeja de caída del producto
9	INY-MEC009	Rodamientos
10	INY-MEC010	Pistón
Sistema eléctrico		
11	INY-ELE001	Botón de paro de emergencia
12	INY-ELE002	Foco de paro de la maquina
13	INY-ELE003	Breaker
14	INY-ELE004	Socket
15	INY-ELE005	Finales de carrera
16	INY-ELE006	Niquelinas
17	INY-ELE007	Relés
18	INY-ELE008	Cables
19	INY-ELE009	Transformador
20	INY-ELE010	Contactores
21	INY-ELE011	Cables de alta tensión
Sistema hidráulico		
22	INY-HID001	Depósito de aceite
23	INY-HID002	Acoples de alta presión de aceite
24	INY-HID003	Bomba de aceite
25	INY-HID004	Filtros de aceite
26	INY-HID005	Mangueras de alta presión
27	INY-HID006	Cilindros neumáticos de doble efecto
28	INY-HID007	Empaques
Sistema control		
29	INY-CON001	Panel de control
30	INY-CON002	PLC's
31	INY-CON003	Pantalla de control de parámetros
32	INY-CON004	Computadora central

Sistema mecánico		
N°	Codificación	Denominación componente
Sistema de refrigeración		
33	INY-REF001	Tomas de agua
34	INY-REF002	Llaves de agua
35	INY-REF003	Mangueras
36	INY-REF004	Bomba de agua
37	INY-REF005	Conductos de agua
38	INY-REF006	Intercambiador
Sistema de alimentación		
39	INY-ALI001	Tolva
40	INY-ALI002	Cañón
41	INY-ALI003	Punta de cañón
42	INY-ALI004	Control de materia prima
43	INY-ALI005	Extractor de materia prima
44	INY-ALI006	Secador
45	INY-REF007	Motor de carga
46	INY-REF008	Pistón de inyección
47	INY-REF009	Husillo

3.1.6. Esquema de la máquina inyectora de plástico

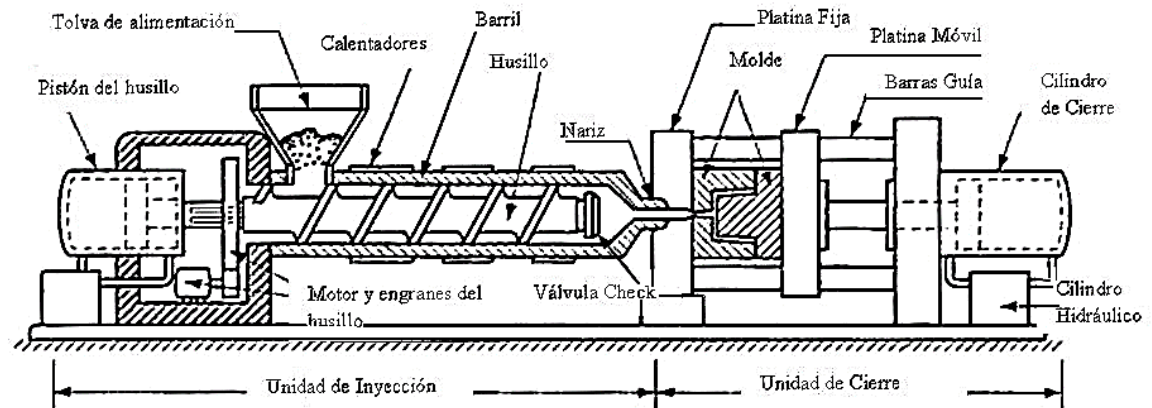


Figura 6: Esquema maquina inyectora de plástico.

En la Figura 6 se puede observar un esquema de las máquinas inyectoras de plástico con sus principales partes las cuales cumplen funciones específicas para el correcto funcionamiento de la misma.

3.2. Mantenimiento parámetros

Para tener un correcto funcionamiento de las máquinas inyectoras de plástico es necesario realizar inspecciones y mantenimientos los cuales garantizaran el correcto funcionamiento de la misma, los plazos o tiempos a realizar este tipo de inspecciones o mantenimientos pueden ser: diario, semanal, mensual, trimestral, semestral o anual todo esto ira variando depende la actividad a desarrollarse.

Para empezar el funcionamiento de este tipo de máquinas y que esté acorde al principio de funcionamiento se debe tener en cuenta revisar puntos básicos de la máquina inyectora de plástico los cuales deben tener chequeos diarios los cuales son básicos y pueden ser desarrollados por el personal de producción o a su vez por el personal de mantenimiento el cual constatará cualquier anomalía en la maquina durante su funcionamiento.

Durante la operación de arranque o puesta en marcha se deberá constatar los niveles de aceite, así mismo se deberá comprobar el ajuste de los pernos de sujeción del molde los cuales deberán estar ajustados para evitar accidentes, se deberá comprobar que la punta del cañón y las resistencias empiecen a calentarse para así poder trabajar de una manera óptima, para finalizar se deberá revisar los diferentes dispositivos de seguridad que tiene la maquina entre los cuales podemos detallar en botón de paro de emergencia no este presionado y las puertas se encuentren cerradas para poder evitar accidentes.

3.2.1. Mantenimiento autónomo

Para desarrollar este procedimiento se debe tener el apoyo del personal de producción ya que este será el encargado de realizar diariamente ya que consiste de actividades básicas como limpieza, orden y verificar si existen ruidos extraños al momento de poner en marcha la máquina, todo esto será capacitado por medio del personal de mantenimiento para así poder desarrollar esta actividad de una manera adecuada.

Para esto se debe tener en cuenta que el operador deberá conocer principios básicos del funcionamiento de la máquina para que al observar o escuchar algo extraño en el funcionamiento de la maquina este informe al departamento de mantenimiento para que ellos identifiquen el problema y puedan solucionarlo ya sea esto con mantenimiento productivo o correctivo.

3.2.2. Mantenimiento planificado o progresivo

Este tipo de mantenimiento se basará en actividades las cuales deberá desarrollar el personal del departamento de mantenimiento por medio de las bitácoras desarrolladas en el plan de mantenimiento, estas actividades deberán ser desarrolladas con el fin de mantener la producción en excelentes condiciones y que no existan paras prolongadas de la misma.

3.3. Determinación de la fiabilidad mediante el método de Weibull

3.3.1. Estadístico del mantenimiento anual de la máquina inyectora de plástico

En la siguiente tabla se detallan las actividades de mantenimiento desarrolladas durante un año las cuales son efectuadas para tener un correcto funcionamiento de la máquina de la misma manera se procede a calcular los diferentes parámetros los cuales nos ayudaran a determinar la fiabilidad de la máquina, para este cálculo se procedió de determinar que la máquina labora 8 horas diarias las cuales comprenden el día de trabajo de la fábrica Halley Corporación C.L.

Entre los parámetros calculados se tiene:

MTBF: Tiempo medio entre fallos sucesivos siendo n el número de datos.

$$((To1+To2+Ton) / \sum n) \quad \text{Ecuación 2}$$

MTTR: Tiempo medio de reparación siendo n el número de datos.

$$((TR1+TR2+TRn) / \sum n) \quad \text{Ecuación 3}$$

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

$$D = MTBF / (MTBF + MTTR) \quad \text{Ecuación 4}$$

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 14: Disponibilidad de una máquina inyectora de plástico

CALCULO DE LA DISPONIBILIDAD DE UNA MAQUINA INYECTORA DE PLASTICO														
Número de horas que opera la máquina inyectora de plástico diariamente												8		
Máquina	Inyectora de plástico					Área	Producción			Sección		Inyección		
MES	ACTIVIDADES	FECHAS	TO (h)	TP (h)	TR (h)	TMB F	MTT R	λ	u	D %	Σ (TO)	Σ (TP)	Σ (TR)	
		1/1/2021												
Enero	Conectar el sistema de refrigeración	4/1/2021	14	2	1	39,25	1,13	0,03	0,89	0,97	157	7,5	4,5	
	Limpieza general de la maquina	4/1/2021	8	3	2									
	Revisión de conexiones eléctricas	14/1/2021	71	1	0,5									
	Revisión del sistema de refrigeración	25/1/2021	64	1,5	1									
Febrero	Engrasado de partes móviles	3/2/2021	62	2	1,5	51,00	1,25	0,02	0,80	0,98	204	7	5	
	Limpieza de la cajas de control	10/2/2021	48	1	0,5									
	Limpieza de la punta	15/2/2021	30	2	1,5									
	Completar aceite	24/2/2021	64	2	1,5									
Marzo	Mantenimiento del intercambiador	5/3/2021	60	4	3	40,75	1,38	0,02	0,73	0,97	163	8,5	5,5	

CALCULO DE LA DISPONIBILIDAD DE UNA MAQUINA INYECTORA DE PLASTICO														
Número de horas que opera la máquina inyectora de plástico diariamente												8		
	Máquina	Inyectora de plástico				Área	Producción			Sección		Inyección		
MES	ACTIVIDADES	FECHAS	TO (h)	TP (h)	TR (h)	TMB F	MTT R	λ	u	D %	Σ (TO)	Σ (TP)	Σ (TR)	
	Revisión de niquelinas	8/3/2021	16	2	1									
	Control de las mangueras de refrigeración	16/3/2021	55	1	0,5									
	Limpieza de la tolva	19/3/2021	32	1,5	1									
Abril	Cambio de filtros	5/4/2021	94,5	1,5	1	62,88	1,50	0,02	0,67	0,98	251,5	8,5	6	
	Revisión de empaques	13/4/2021	56	2	1,5									
	Limpieza general de la maquina	21/4/2021	53	3	2									
	Revisión de la bomba de aceite	28/4/2021	48	2	1,5									
Mayo	Cambio de mangueras de agua	3/5/2021	30,5	1,5	1	49,13	1,00	0,02	1,00	0,98	196,5	6	4	
	Verificación de ruidos anormales	11/5/2021	56	1	0,5									
	Revisión de propulsores	20/5/2021	62	2	1,5									
	Engrase del pistón	27/5/2021	48	1,5	1									
Junio	Cambio de Contactores	4/6/2021	54	2	1,5	50,75	1,75	0,02	0,57	0,97	203	9	7	

CALCULO DE LA DISPONIBILIDAD DE UNA MAQUINA INYECTORA DE PLASTICO														
Número de horas que opera la máquina inyectora de plástico diariamente												8		
MES	Máquina	Inyectora de plástico				Área	Producción			Sección		Inyección		
	ACTIVIDADES	FECHAS	TO (h)	TP (h)	TR (h)	TMB F	MTT R	λ	u	D %	Σ (TO)	Σ (TP)	Σ (TR)	
	Limpieza de rodamientos de las puertas	17/6/2021	80	2	1,5									
	Limpieza de niquelinas y reconexión de las mismas	21/6/2021	21	3	2,5									
	Revisión de la bomba de agua y las llaves	28/6/2021	48	2	1,5									
Julio	Limpieza del sistema de alimentación	9/7/2021	77	3	2,5	54,75	1,63	0,02	0,6 2	0,97	219	9	6,5	
	Revisión del nivel de aceite y completar	12/7/2021	16	1	0,5									
	Limpieza de punta	26/7/2021	86	2	1,5									
	Limpieza general de la maquina	30/7/2021	40	3	2									
Agosto	Engrasado de partes móviles	9/8/2021	54	2	1,5	49,25	0,75	0,02	1,3 3	0,99	197	5	3	
	Revisión de conexiones eléctricas	13/8/2021	40	1	0,5									

CALCULO DE LA DISPONIBILIDAD DE UNA MAQUINA INYECTORA DE PLASTICO														
Número de horas que opera la máquina inyectora de plástico diariamente												8		
MES	Máquina	Inyectora de plástico				Área	Producción			Sección		Inyección		
	ACTIVIDADES	FECHAS	TO (h)	TP (h)	TR (h)	TMB F	MTT R	λ	u	D %	Σ (TO)	Σ (TP)	Σ (TR)	
	Revisión de fusibles del gabinete eléctrico	24/8/2021	63	1	0,5									
	Toma de muestras del aceite	30/8/2021	40	1	0,5									
Septiembre	Mantenimiento del intercambiador	7/9/2021	52	4	3	44,25	2,00	0,02	0,50	0,96	177	11	8	
	Limpieza de la punta	15/9/2021	56	2	1,5									
	Lubricación de los ejes de desplazamiento	21/9/2021	37	3	2,5									
	Revisión de niquelinas	24/9/2021	32	2	1									
Octubre	Cambio de propulsores	2/10/2021	46	2	1,5	44,75	2,25	0,02	0,44	0,95	179	12	9	
	Revisión de la bomba de aceite	15/10/2021	80	2	1,5									
	Revisión de empaques	18/10/2021	13	3	2									
	Cambio de sellos del pistón hidráulico	22/10/2021	40	5	4									
Noviembre	Verificación de ruidos anormales	3/11/2021	71	1	0,5	59,38	1,63	0,02	0,62	0,97	237,5	8,5	6,5	

CALCULO DE LA DISPONIBILIDAD DE UNA MAQUINA INYECTORA DE PLASTICO														
Número de horas que opera la máquina inyectora de plástico diariamente												8		
MES	Máquina	Inyectora de plástico				Área	Producción			Sección		Inyección		
	ACTIVIDADES	FECHAS	TO (h)	TP (h)	TR (h)	TMB F	MTT R	λ	u	D %	Σ (TO)	Σ (TP)	Σ (TR)	
	Revisar los bujes de las barras de deslizamiento	15/11/2021	72	3	2,5									
	Limpieza del filtro de aceite	19/11/2021	38,5	1,5	1									
	Limpieza de la tolva y sistema de alimentación	29/11/2021	56	3	2,5									
Diciembre	Limpieza del tanque de aceite	20/12/2021	122	6	5,5									
	Limpieza general de la maquina	21/12/2021	16	3	2									
	Filtrado de aceite	22/12/2021	11	5	4,5	41,25	3,63	0,02	0,28	0,92	165	17	14,5	
	Revisión de la bomba de agua y sistema de refrigeración	23/12/2021	16	3	2,5									

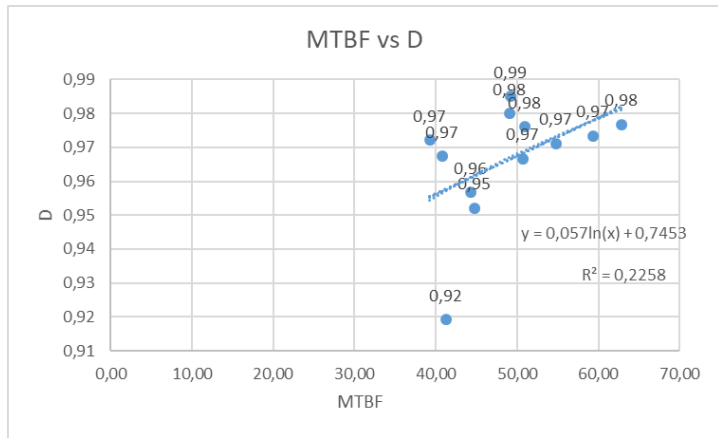


Figura 7: Gráfica MTBF vs D

Mediante la Figura 7 muestra el punto máximo de disponibilidad con un valor de 0,99 (MTBF= 49.25 h) y un mínimo de 0,92 (MTBF= 41,25 h).

Así mismo en el gráfico presentado se puede observar que el coeficiente de determinación o de correlación múltiple tiene un valor de 0.2258 y este no se acerca a la unidad debido a que los datos se encuentran dispersos o no tiene una correlación determinada.

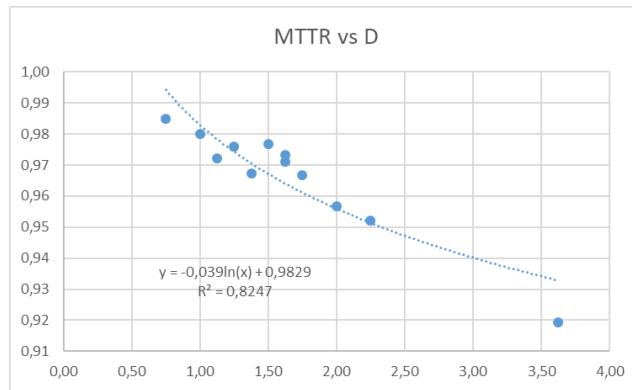


Figura 8: Gráfica MTTR vs D

Mediante la Figura 8 se puede observar que el punto máximo de disponibilidad tiene un valor de 0.99 cuando MTTR = 0.75 h, también, se determinó el tiempo medio entre fallos máximo tiene un valor de 3.63 h con una disponibilidad de 0.92 mientras que el mínimo es de 0.75 h con una disponibilidad de 0.99, además se determinó que el coeficiente de

correlación múltiple posee un valor de 0.82 el cual es un valor no tan cercano a uno que así mismo nos da un indicativo de que los datos no se encuentran tan dispersos.

3.3.2. Modelo matemático de Weibull.

Mediante las actividades descritas en la Tabla 15 la cual representa el estadístico la cual nos indica que por cada actividad desarrollada de mantenimiento es porque se encontró una falla en la máquina procedemos a calcular parámetros los cuales nos ayudan a determinar la fiabilidad y la in fiabilidad de las inyectoras.

Tabla 15: Datos estadísticos de la inyectora.

Actividad	Nº de falla	To (h)	ln(t)
1	1	14	2,639
2	1	8	2,079
3	1	71	4,263
4	1	64	4,159
5	1	62	4,127
6	1	48	3,871
7	1	30	3,401
8	1	64	4,159
9	1	60	4,094
10	1	16	2,773
11	1	55	4,007
12	1	32	3,466
13	1	94,5	4,549
14	1	56	4,025
15	1	53	3,970
16	1	48	3,871
17	1	30,5	3,418
18	1	56	4,025
19	1	62	4,127
20	1	48	3,871
21	1	54	3,989
22	1	80	4,382
23	1	21	3,045
24	1	48	3,871
25	1	77	4,344
26	1	16	2,773
27	1	86	4,454
28	1	40	3,689
29	1	54	3,989

Actividad	N° de falla	To (h)	ln(t)
30	1	40	3,689
31	1	63	4,143
32	1	40	3,689
33	1	52	3,951
34	1	56	4,025
35	1	37	3,611
36	1	32	3,466
37	1	46	3,829
38	1	80	4,382
39	1	13	2,565
40	1	40	3,689
41	1	71	4,263
42	1	72	4,277
43	1	38,5	3,651
44	1	56	4,025
45	1	122	4,804
46	1	16	2,773
47	1	11	2,398
48	1	16	2,773
Sumatorias	48	2349,5	179,432

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n \ln(T_o)}{n} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$\bar{x} = \frac{179.432}{48}$$

$$\bar{x} = 3.738$$

Luego de calcular el valor de x medios procedemos a calcular la varianza mediante los datos obtenidos en la Tabla 16.

Tabla 16: Cálculos para obtener la varianza.

Actividad	N° de falla	To (h)	ln(t)	(ln(t)- x)^2
1	1	14	2,639	1,208
2	1	8	2,079	2,751
3	1	71	4,263	0,275
4	1	64	4,159	0,177
5	1	62	4,127	0,151
6	1	48	3,871	0,018

Actividad	N° de falla	To (h)	ln(t)	(ln(t)-x)^2
7	1	30	3,401	0,114
8	1	64	4,159	0,177
9	1	60	4,094	0,127
10	1	16	2,773	0,932
11	1	55	4,007	0,072
12	1	32	3,466	0,074
13	1	94,5	4,549	0,657
14	1	56	4,025	0,082
15	1	53	3,970	0,054
16	1	48	3,871	0,018
17	1	30,5	3,418	0,103
18	1	56	4,025	0,082
19	1	62	4,127	0,151
20	1	48	3,871	0,018
21	1	54	3,989	0,063
22	1	80	4,382	0,415
23	1	21	3,045	0,481
24	1	48	3,871	0,018
25	1	77	4,344	0,367
26	1	16	2,773	0,932
27	1	86	4,454	0,513
28	1	40	3,689	0,002
29	1	54	3,989	0,063
30	1	40	3,689	0,002
31	1	63	4,143	0,164
32	1	40	3,689	0,002
33	1	52	3,951	0,045
34	1	56	4,025	0,082
35	1	37	3,611	0,016
36	1	32	3,466	0,074
37	1	46	3,829	0,008
38	1	80	4,382	0,415
39	1	13	2,565	1,376
40	1	40	3,689	0,002
41	1	71	4,263	0,275
42	1	72	4,277	0,290
43	1	38,5	3,651	0,008
44	1	56	4,025	0,082
45	1	122	4,804	1,136
46	1	16	2,773	0,932

Actividad	N° de falla	To (h)	ln(t)	(ln(t)- x)^2
47	1	11	2,398	1,796
48	1	16	2,773	0,932
Sumatorias	48	2349,5	179,432	17,737

$$S^2 = \frac{(\sum \ln(t_o) - \bar{x})^2}{(n - 1)} \quad \text{Ecuación 6}$$

$$S^2 = \frac{17.737^2}{44 - 1}$$

$$S^2 = 7.31$$

Una vez obtenido la varianza procedemos a calcular la desviación:

$$S^2 = 7.31$$

$$S = \sqrt{7.31}$$

$$S = 2.704$$

Una vez obtenidos estos valores procedemos a calcular los parámetros que serán necesarios para ocupar en la ecuación de Weibull.

$$\beta = \frac{\pi}{S\sqrt{6}} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$\beta = \frac{\pi}{2.704\sqrt{6}}$$

$$\beta = 0.474$$

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

$$\alpha = \exp \left(3.783 + \left(\frac{0.5772}{0.474} \right) \right)$$

$$\alpha = 148.52$$

A continuación, en la Tabla 17 presentamos los datos obtenidos en los cálculos anteriores los cuales nos ayudaran a desarrollar la tabla de Excel.

Tabla 17: Parámetros utilizados para el cálculo de Weibull

Cálculo de parámetros	
Media (x)	3,738
Varianza (S ²)	7,31
Desviación (S)	2,704
Beta (β)	0,474
Alpha (α)	148,52
Gama (γ)	0

Una vez obtenidos estos datos procedemos a calcular la fiabilidad e in fiabilidad mediante el método de Weibull.

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^{\frac{1}{\beta}}\right] \quad \text{Ecuación 9}$$

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{14-0}{148.52}\right)^{\frac{1}{0.474}}\right]$$

$$R(t) = 0.9931 = 99.31\%$$

$$F(t) = 1 - R(t) \quad \text{Ecuación 10}$$

$$F(t) = 1 - 0.9931$$

$$F(t) = 0.0068 = 00.68\%$$

A continuación, presentamos la Tabla 18 completa de los cálculos de Weibull en donde se utilizó una hoja de cálculos de Excel la cual nos ayuda a desarrollar de manera rápida los cálculos.

Tabla 18: Datos finales de Weibull

Actividad	N° de falla	To (h)	ln(t)	(ln(t)-x) ²	R(t)	R(t) %	F(t)	F(t) %
1	1	14	2,639	1,208	0,9932	99,32%	0,0068	0,68%
2	1	8	2,079	2,751	0,9979	99,79%	0,0021	0,21%

Actividad	N° de falla	To (h)	ln(t)	(ln(t)-x)^2	R(t)	R(t) %	F(t)	F(t) %
3	1	71	4,263	0,275	0,8100	81,00%	0,1900	19,00%
4	1	64	4,159	0,177	0,8442	84,42%	0,1558	15,58%
5	1	62	4,127	0,151	0,8536	85,36%	0,1464	14,64%
6	1	48	3,871	0,018	0,9119	91,19%	0,0881	8,81%
7	1	30	3,401	0,114	0,9663	96,63%	0,0337	3,37%
8	1	64	4,159	0,177	0,8442	84,42%	0,1558	15,58%
9	1	60	4,094	0,127	0,8626	86,26%	0,1374	13,74%
10	1	16	2,773	0,932	0,9910	99,10%	0,0090	0,90%
11	1	55	4,007	0,072	0,8843	88,43%	0,1157	11,57%
12	1	32	3,466	0,074	0,9615	96,15%	0,0385	3,85%
13	1	94,5	4,549	0,657	0,6803	68,03%	0,3197	31,97%
14	1	56	4,025	0,082	0,8801	88,01%	0,1199	11,99%
15	1	53	3,970	0,054	0,8925	89,25%	0,1075	10,75%
16	1	48	3,871	0,018	0,9119	91,19%	0,0881	8,81%
17	1	30,5	3,418	0,103	0,9652	96,52%	0,0348	3,48%
18	1	56	4,025	0,082	0,8801	88,01%	0,1199	11,99%
19	1	62	4,127	0,151	0,8536	85,36%	0,1464	14,64%
20	1	48	3,871	0,018	0,9119	91,19%	0,0881	8,81%
21	1	54	3,989	0,063	0,8884	88,84%	0,1116	11,16%
22	1	80	4,382	0,415	0,7625	76,25%	0,2375	23,75%
23	1	21	3,045	0,481	0,9840	98,40%	0,0160	1,60%
24	1	48	3,871	0,018	0,9119	91,19%	0,0881	8,81%
25	1	77	4,344	0,367	0,7787	77,87%	0,2213	22,13%
26	1	16	2,773	0,932	0,9910	99,10%	0,0090	0,90%
27	1	86	4,454	0,513	0,7292	72,92%	0,2708	27,08%
28	1	40	3,689	0,002	0,9391	93,91%	0,0609	6,09%
29	1	54	3,989	0,063	0,8884	88,84%	0,1116	11,16%
30	1	40	3,689	0,002	0,9391	93,91%	0,0609	6,09%
31	1	63	4,143	0,164	0,8489	84,89%	0,1511	15,11%
32	1	40	3,689	0,002	0,9391	93,91%	0,0609	6,09%
33	1	52	3,951	0,045	0,8965	89,65%	0,1035	10,35%
34	1	56	4,025	0,082	0,8801	88,01%	0,1199	11,99%
35	1	37	3,611	0,016	0,9481	94,81%	0,0519	5,19%
36	1	32	3,466	0,074	0,9615	96,15%	0,0385	3,85%
37	1	46	3,829	0,008	0,9191	91,91%	0,0809	8,09%
38	1	80	4,382	0,415	0,7625	76,25%	0,2375	23,75%
39	1	13	2,565	1,376	0,9942	99,42%	0,0058	0,58%
40	1	40	3,689	0,002	0,9391	93,91%	0,0609	6,09%
41	1	71	4,263	0,275	0,8100	81,00%	0,1900	19,00%
42	1	72	4,277	0,290	0,8049	80,49%	0,1951	19,51%

Actividad	N° de falla	To (h)	ln(t)	(ln(t)-x)^2	R(t)	R(t) %	F(t)	F(t) %
43	1	38,5	3,651	0,008	0,9437	94,37%	0,0563	5,63%
44	1	56	4,025	0,082	0,8801	88,01%	0,1199	11,99%
45	1	122	4,804	1,136	0,5167	51,67%	0,4833	48,33%
46	1	16	2,773	0,932	0,9910	99,10%	0,0090	0,90%
47	1	11	2,398	1,796	0,9959	99,59%	0,0041	0,41%
48	1	16	2,773	0,932	0,9910	99,10%	0,0090	0,90%

Una vez obtenida la tabla de valores procedemos a realizar las Figura 9 la cual representa R (t) vs To y la Figura 10 la cual representa F(t) vs To.

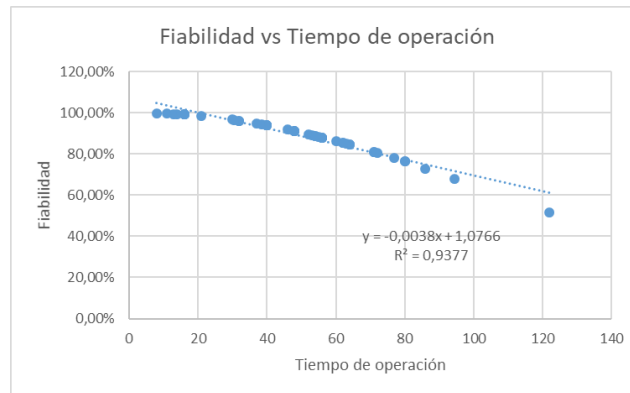


Figura 9: Fiabilidad vs Tiempo de operación

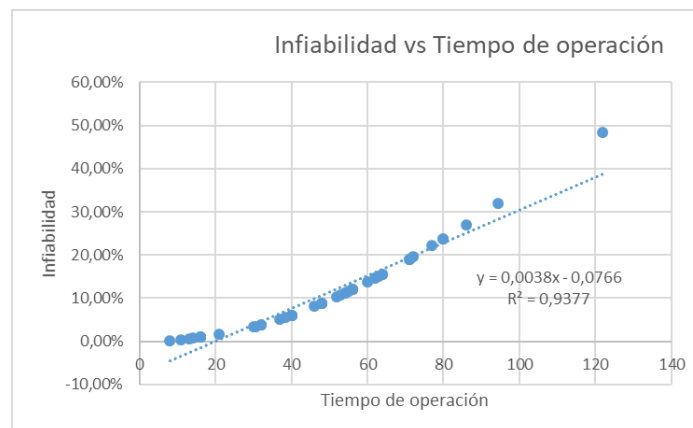


Figura 10: Infiabilidad vs Tiempo de operación

Una vez obtenidas las gráficas podemos obtener las siguientes conclusiones:

- En la Figura 9 de fiabilidad vs tiempo de operación podemos determinar una ecuación lineal $y = 0.0038x - 1.0766$ la cual nos determina un valor del coeficiente de correlación de $R = 0.9377$ el cual es un valor que nos ayuda a determinar que todos los valores están correlacionados.
- En la Figura 10 de in fiabilidad vs tiempo de operación podemos determinar una ecuación lineal $y = 0.0038x - 0.0766$ la cual nos determina un valor del coeficiente de correlación de $R = 0.9377$ el cual es un valor que nos ayuda a determinar que todos los valores están correlacionados.
- El porcentaje de fiabilidad máximo obtenido en la tabla es de 99.79% con un tiempo de operación de 8 horas.
- El porcentaje de fiabilidad mínimo obtenido en la tabla es de 51.67% con un tiempo de operación de 122 horas.

3.3.3. Método gráfico de Weibull

Una vez concluido con el método matemático procedemos a realizar un análisis el cual nos ayudara a identificar la manera gráfica todos los parámetros que han sido encontrados durante estos cálculos, ya que los valores de muestra superar los 20 datos se aplicara una formula especifica la cual detallaremos a continuación:

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

Para una mayor facilidad se procede a realizar una tabla en una hoja de Excel la cual nos ayudara a obtener los valores del rango medio y del porcentaje de falla acumulativa para la maquina inyectora de plástico

Tabla 19: Cálculo porcentaje de falla acumulativa F(i)

Número de fallas i	To (h)	Rango medio	Porcentaje de falla acumulativa F(i) (%)
1	14	0,015	1,47%
2	8	0,036	3,57%
3	71	0,057	5,67%
4	64	0,078	7,77%
5	62	0,099	9,87%

Número de fallas i	To (h)	Rango medio	Porcentaje de falla acumulativa F(i) (%)
6	48	0,120	11,97%
7	30	0,141	14,08%
8	64	0,162	16,18%
9	60	0,183	18,28%
10	16	0,204	20,38%
11	55	0,225	22,48%
12	32	0,246	24,58%
13	94,5	0,267	26,68%
14	56	0,288	28,78%
15	53	0,309	30,88%
16	48	0,330	32,98%
17	30,5	0,351	35,08%
18	56	0,372	37,18%
19	62	0,393	39,29%
20	48	0,414	41,39%
21	54	0,435	43,49%
22	80	0,456	45,59%
23	21	0,477	47,69%
24	48	0,498	49,79%
25	77	0,519	51,89%
26	16	0,540	53,99%
27	86	0,561	56,09%
28	40	0,582	58,19%
29	54	0,603	60,29%
30	40	0,624	62,39%
31	63	0,645	64,50%
32	40	0,666	66,60%
33	52	0,687	68,70%
34	56	0,708	70,80%
35	37	0,729	72,90%
36	32	0,750	75,00%
37	46	0,771	77,10%
38	80	0,792	79,20%
39	13	0,813	81,30%
40	40	0,834	83,40%
41	71	0,855	85,50%
42	72	0,876	87,61%
43	38,5	0,897	89,71%

Número de fallas i	To (h)	Rango medio	Porcentaje de falla acumulativa F(i) (%)
44	56	0,918	91,81%
45	122	0,939	93,91%
46	16	0,960	96,01%
47	11	0,981	98,11%
48	16	1,002	100,21%

Luego de haber determinado los pares ordenados en la Tabla 19 procedemos a graficar los puntos en la gráfica de Weibull y los parámetros utilizados.

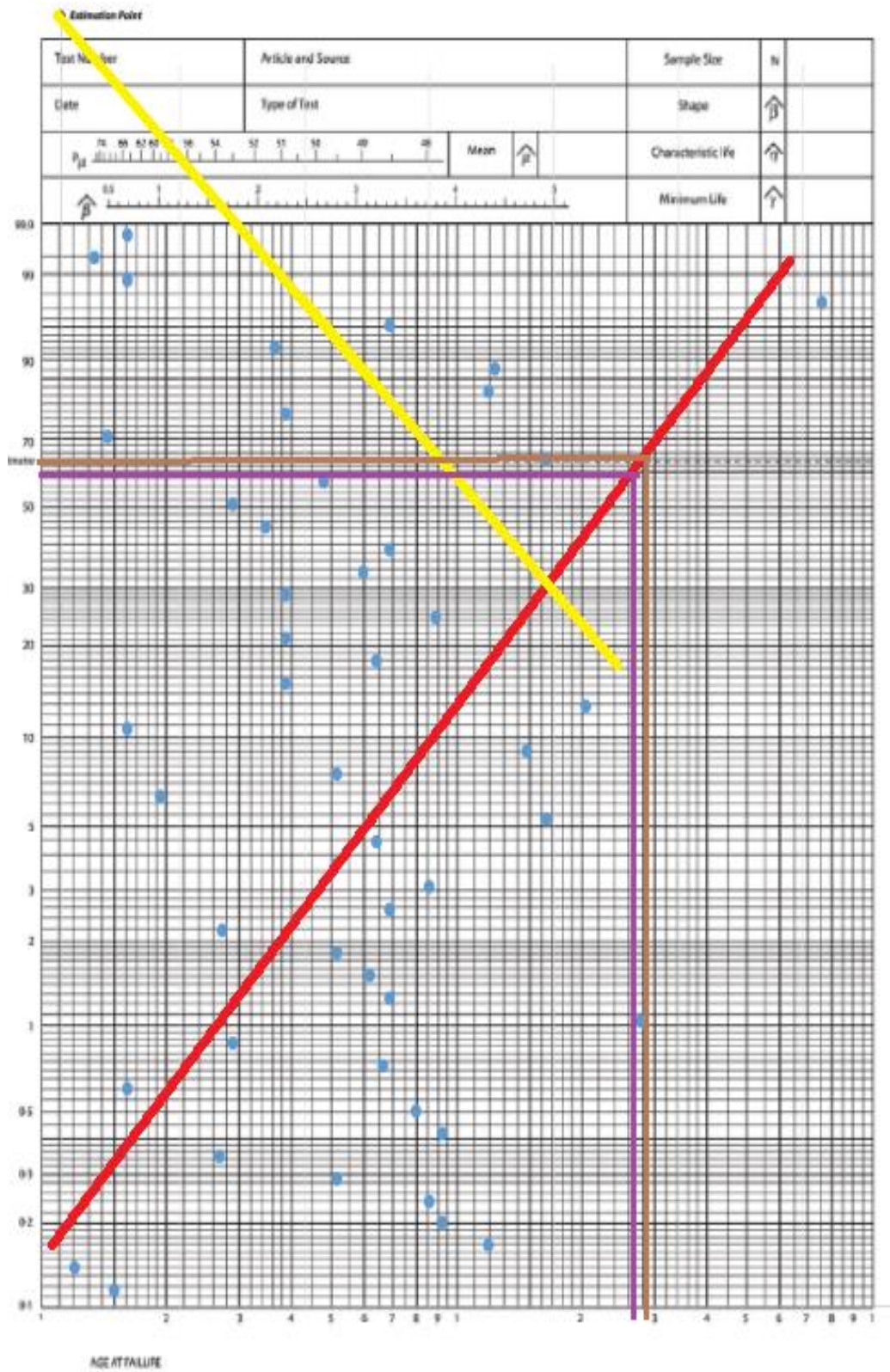


Figura 11: Grafica de Weibull para las inyectoras.

Una vez desarrollada la Figura 11 de Weibull procedemos a detallar los datos obtenidos en la siguiente tabla.

$P\mu$	58
β	1.6
n	127

Por la gran cantidad de datos obtenidos procedemos a desarrollar una tabla en el software Excel la cual nos ayudara con el cálculo de la fiabilidad.

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t - \gamma}{n} \right)^\beta \right] \quad \text{Ecuación 12}$$

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{14 - 0}{48} \right)^{1.6} \right]$$

$$R(t) = 0.8700$$

Tabla 20: Tabla de porcentajes de Weibull

Número de fallas i	To (h)	Rango medio	Porcentaje de falla acumulativa F(i) (%)	R (t)	R (t) (%)
1	14	0,015	1,47%	0,8700	87,00%
2	8	0,036	3,57%	0,9447	94,47%
3	71	0,057	5,67%	0,1540	15,40%
4	64	0,078	7,77%	0,2050	20,50%
5	62	0,099	9,87%	0,2218	22,18%
6	48	0,120	11,97%	0,3679	36,79%
7	30	0,141	14,08%	0,6241	62,41%
8	64	0,162	16,18%	0,2050	20,50%
9	60	0,183	18,28%	0,2395	23,95%
10	16	0,204	20,38%	0,8416	84,16%
11	55	0,225	22,48%	0,2884	28,84%
12	32	0,246	24,58%	0,5929	59,29%
13	94,5	0,267	26,68%	0,0520	5,20%
14	56	0,288	28,78%	0,2781	27,81%
15	53	0,309	30,88%	0,3098	30,98%
16	48	0,330	32,98%	0,3679	36,79%
17	30,5	0,351	35,08%	0,6163	61,63%
18	56	0,372	37,18%	0,2781	27,81%

Número de fallas i	To (h)	Rango medio	Porcentaje de falla acumulativa F(i) (%)	R (t)	R (t) (%)
19	62	0,393	39,29%	0,2218	22,18%
20	48	0,414	41,39%	0,3679	36,79%
21	54	0,435	43,49%	0,2990	29,90%
22	80	0,456	45,59%	0,1039	10,39%
23	21	0,477	47,69%	0,7661	76,61%
24	48	0,498	49,79%	0,3679	36,79%
25	77	0,519	51,89%	0,1188	11,88%
26	16	0,540	53,99%	0,8416	84,16%
27	86	0,561	56,09%	0,0787	7,87%
28	40	0,582	58,19%	0,4738	47,38%
29	54	0,603	60,29%	0,2990	29,90%
30	40	0,624	62,39%	0,4738	47,38%
31	63	0,645	64,50%	0,2133	21,33%
32	40	0,666	66,60%	0,4738	47,38%
33	52	0,687	68,70%	0,3209	32,09%
34	56	0,708	70,80%	0,2781	27,81%
35	37	0,729	72,90%	0,5172	51,72%
36	32	0,750	75,00%	0,5929	59,29%
37	46	0,771	77,10%	0,3929	39,29%
38	80	0,792	79,20%	0,1039	10,39%
39	13	0,813	81,30%	0,8837	88,37%
40	40	0,834	83,40%	0,4738	47,38%
41	71	0,855	85,50%	0,1540	15,40%
42	72	0,876	87,61%	0,1476	14,76%
43	38,5	0,897	89,71%	0,4953	49,53%
44	56	0,918	91,81%	0,2781	27,81%
45	122	0,939	93,91%	0,0117	1,17%
46	16	0,960	96,01%	0,8416	84,16%
47	11	0,981	98,11%	0,9097	90,97%
48	16	1,002	100,21%	0,8416	84,16%

Luego de obtener los datos por medio de una hoja de cálculo procedemos a realizar la gráfica confiabilidad vs tiempo de operación

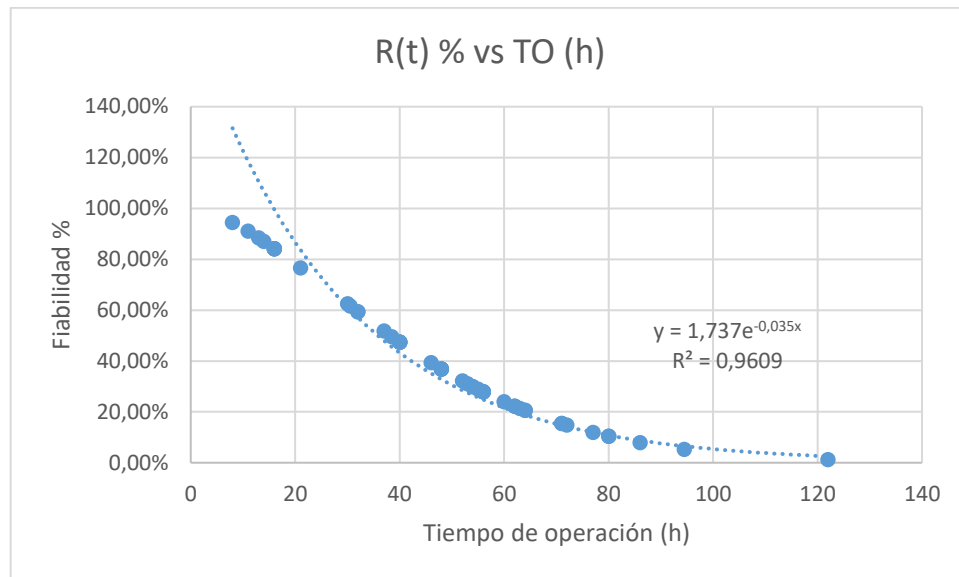


Figura 12: Grafica fiabilidad vs tiempo de operación método grafico

Una vez desarrollada la Figura 12 podemos determinar las diferentes conclusiones:

- Para obtener la línea de tendencia ocupamos una ecuación exponencial la cual es la siguiente $y = 1,737e^{-0,035x}$ esta ecuación recurre a ser la más cercana a todos los puntos que se obtienen mediante la tabla en la hoja de Excel.
- El coeficiente de correlación obtenido con la presente ecuación tiene un valor de $R = 0.9609$, esto nos ayuda a determinar que todos los datos están correlacionados con la ecuación exponencial.
- El porcentaje de fiabilidad máximo mediante el método grafico obtenido es de 90.97% el cual se obtiene en un tiempo de operación de 11 horas.
- El porcentaje de fiabilidad mínimo mediante el método grafico obtenido es de 1.17% el cual se obtiene en un tiempo de operación de 122 horas.
- En la gráfica podemos observar que la inyectora presenta una tasa de fallos decreciente la cual nos ayuda a determinar que los mantenimientos preventivos desarrollados hasta la fecha han sido efectivos y evitan inconvenientes.
- Mediante la obtención de la gráfica podemos determinar que mientras mayor sea la fiabilidad de la maquina el tiempo de operación deberá ser el mínimo, esto debido a que mientras más tiempo de operación exista podemos tener mayor

cantidad de fallas porque existe una mayor cantidad de desgaste y funcionamiento de las diferentes partes que componen la máquina.

3.4. Matriz AMFE

3.4.1. Matriz AMFE del sistema mecánico

Tabla 21: AMFE sistema mecánico

AMFE SISTEMA MECÁNICO											
Área:	Producción	Marca:	-	Elaborado por:	Jairo De la Cruz						
Sección:	Inyección	Modelo:	-	Revisado por:	Ing. Christian Castro						
Sistema:	Mecánico	Serie:	-	Aprobado por:	Ing. Christian Castro						
Componente	Código	Función	Fallo Funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IP R	
Motor eléctrico trifásico de 480v	INY-MEC001	Brindar movimiento a las diferentes partes móviles de la máquina	Recalentamiento de los bobinados	Sobrecalentamiento	Cambios excesivos de voltaje en la alimentación	Fundición de motor	1	8	9	72	Reparación y mantenimiento correctivo del motor.
			Perdida de potencia	Desconexión	Mala conexión en la instalación	Alteración en la velocidad de funcionamiento	2	5	8	80	Mantenimiento preventivo en los tiempos establecidos
Bases del molde	INY-MEC002	Sostener los moldes para que se inserte la materia prima dentro de ellos	Mala ubicación del molde	Desnivel	Golpes sobre la superficie	El molde no se centra de manera correcta	3	6	7	126	Correcta ubicación y ajustes del molde durante los cambios
			El molde no se queda en su lugar	Desgaste	Ajuste indebido de los pernos	Mal ajuste de pernos en las abrazaderas	2	7	8	112	Buen centrado de los pernos de las abrazaderas del molde
Pernos de sujeción del molde	INY-MEC003	Unir al molde con la base	El molde no se queda en su lugar	Aislado de rosca	Montaje inadecuado	Mal ajuste de pernos en las abrazaderas	3	5	8	120	Colocar los pernos de manera

AMFE SISTEMA MECÁNICO											
Área:	Producción	Marca:	-	Elaborado por:	Jairo De la Cruz						
Sección:	Inyección	Modelo:	-	Revisado por:	Ing. Christian Castro						
Sistema:	Mecánico	Serie:	-	Aprobado por:	Ing. Christian Castro						
Componente	Código	Función	Fallo Funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IP R	
		para que este no se mueva durante el trabajo									adecuada sobre las bases
			Abrazaderas flojas	Desgaste	Abrazaderas en mal estado	El molde no se centra de manera correcta	3	7	7	147	Cambio de abrazaderas que se encuentran en mal estado
Estructura de la máquina	INY-MEC004	Sostener los diferentes sistemas de las máquinas para así poder trabajar	Corrosión por contacto	Corrosión	Mala limpieza e la máquina	Apariencia defectuosa y pérdida de resistencia	2	4	5	40	Limpieza diaria de la máquina
			Malos apoyos o golpes	Sobre esfuerzos	Golpes sobre los perfiles de la estructura	La máquina se encuentra de una manera inadecuada.	3	3	4	36	Ubicar los pesos sobre los lugares designados
Expulsores	INY-MEC005	Expulsar la pieza fuera del molde luego de que este ya este conformado	El expulsor no se encuentra recto	Torceduras	Golpes sobre el expulsor	El producto no sale fuera del molde	3	8	5	120	Ubicar el expulsor centrado al momento de cambiar los moldes
			El expulsor no se queda en su lugar	Aislado de rosca	Expulsor sin rosca	Mal ajuste del expulsor sobre su base	4	7	6	168	Centrar el expulso de una manera adecuada antes de ser ajustado

AMFE SISTEMA MECÁNICO											
Área:	Producción	Marca:	-	Elaborado por:	Jairo De la Cruz						
Sección:	Inyección	Modelo:	-	Revisado por:	Ing. Christian Castro						
Sistema:	Mecánico	Serie:	-	Aprobado por:	Ing. Christian Castro						
Componente	Código	Función	Fallo Funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IP R	
Coraza	INY-MEC006	Proteger las partes electrónicas y mecánicas de la máquina de agentes externos.	Planchas sin pintura	Desgaste	Tiempo de uso	Mal aspecto físico de la máquina	2	3	3	18	Limpieza diaria de la máquina
			Torceduras sobre la coraza o abolladuras	Fisuras	Golpes generados con objetos pesados	Mal aspecto físico de la máquina	3	3	6	54	Ubicar los pesos sobre los lugares designados y evitar golpes a la máquina
Ejes de desplazamiento	INY-MEC007	Guiar a las puertas para su apertura y cierre de las mismas.	Deslizamiento forzado de las puertas	Desgaste	Tiempo de uso	Remordimiento del mecanismo	2	7	8	112	Cambio y lubricación de los ejes
			Rodamientos flojos o desalineados	Deformación	Mala lubricación de los rodamientos	No existe un sistema de seguridad	2	8	7	112	Cambio y lubricación de los ejes
Bandeja de caída del producto	INY-MEC008	Recolectar los productos terminados en la parte inferior de la máquina.	Planchas sin pintura	Desgaste	Tiempo de uso	Mal aspecto físico de la máquina	1	2	6	12	Limpieza diaria de la máquina
			Torceduras sobre la coraza o abolladuras	Fisuras	Golpes generados con objetos pesados	Mal aspecto físico de la máquina	1	1	5	5	Limpieza diaria de la máquina y evitar golpes a la máquina
Rodamientos	INY-MEC009	Realizar movimientos suaves de la puerta para	Deslizamiento forzado de las puertas	Remordimiento	Mala lubricación de los rodamientos	Sistema de seguridad incompleto	2	7	8	112	Cambio y lubricación de los rodamientos

AMFE SISTEMA MECÁNICO											
Área:	Producción	Marca:	-	Elaborado por:	Jairo De la Cruz						
Sección:	Inyección	Modelo:	-	Revisado por:	Ing. Christian Castro						
Sistema:	Mecánico	Serie:	-	Aprobado por:	Ing. Christian Castro						
Componente	Código	Función	Fallo Funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IP R	
		abrir y cerrar las puertas.	Rodamientos flojos o desalineados	Desalineación	Montaje inadecuado	Remordimiento del mecanismo	2	7	8	112	Cambio y lubricación de los rodamientos
Pistón	INY-MEC010	Empujar a los expulsores para que estos muevan los productos dentro del molde.	Torcedura de la barra de empuje	Desalineación	Golpes fuertes	Guías desalineadas o atascadas	2	9	7	126	Cambio del pistón
			Exceso de holgura	Desgaste	Tiempo de uso	El producto no sale fuera del molde	2	8	7	112	Mantenimiento y lubricación del pistón

3.4.2. Matriz AMFE del sistema de alimentación

Tabla 22: AMFE sistema de alimentación

AMFE SISTEMA DE ALIMENTACIÓN											
Elaborado por:	Producción	Marca:	-	Elaborado por:	Jairo De la Cruz						
Sección:	Inyección	Modelo:	-	Revisado por:	Ing. Christian Castro						
Sistema:	Alimentación	Serie:	-	Aprobado por:	Ing. Christian Castro						
Componente	Código	Función	Fallo Funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IP R	
Tolva	INY-ALI001	Contener la materia prima en forma de granos	Torceduras sobre la coraza o abolladuras	Fisuras	Golpes generados con objetos pesados	Mal aspecto físico de la máquina	3	5	6	90	Evitar golpes sobre la tolva y dar limpieza diaria
			Tolva sin pintura	Desgaste	Tiempo de uso	Mal aspecto físico de la máquina	2	2	6	24	Limpieza diaria de la máquina
Cañón	INY-ALI002	Calentar la materia prima para enviarla al molde en	Las niuelinas no se calientan	Taponamiento	Falta de mantenimiento	La materia prima no circulara dentro del cañón	3	7	9	189	Una buena calibración de la máquina depende el material y el producto

AMFE SISTEMA DE ALIMENTACIÓN											
Elaborado por:	Producción	Marca:	-	Elaborado por:	Jairo De la Cruz						
Sección:	Inyección	Modelo:	-	Revisado por:	Ing. Christian Castro						
Sistema:	Alimentación	Serie:	-	Aprobado por:	Ing. Christian Castro						
Componente	Código	Función	Fallo Funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IP R	
		forma líquida	Las niquelinas se encuentran frías	Calibración inadecuada	Falta de mantenimiento	El cañón no calentara y la materia prima permanecerá en estado solido	4	4	8	128	Una buena calibración de la máquina depende el material y el producto
Punta de cañón	INY-ALI003	Recibir la materia prima en forma líquida para luego enviar al molde	Las niquelinas no se calientan	Taponamiento	Falta de mantenimiento	La materia prima no circulara dentro del cañón	4	4	8	128	Una buena calibración de la máquina depende el material y el producto
			Fugas de materia prima	Aislado de rosca	Montaje inadecuado	Mal ajuste de la punta del cañón al ubicarse sobre el cañón	2	8	8	128	Una buena calibración de la máquina depende el material y el producto

AMFE SISTEMA DE ALIMENTACIÓN											
Elaborado por:	Producción	Marca:	-	Elaborado por:	Jairo De la Cruz						
Sección:	Inyección	Modelo:	-	Revisado por:	Ing. Christian Castro						
Sistema:	Alimentación	Serie:	-	Aprobado por:	Ing. Christian Castro						
Componente	Código	Función	Fallo Funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IP R	
Control de materia prima	INY-ALI004	Observar el nivel de materia prima que aún está dentro de la tolva	Los parámetros no se observaran	Mala visibilidad	Tiempo de uso y falta de mantenimiento	No se puede observar los parámetros que se insertan en la máquina	2	2	7	28	Limpieza de la máquina
			Abolladuras sobre la carcasa de la pantalla	Roto	Golpes sobre la carcasa	Mal aspecto físico de la máquina	1	4	8	32	Evitar golpes sobre la carcasa
Extractor de materia prima	INY-ALI005	Extraer la materia prima sobrante dentro de la tolva para así cambiar de material	La tolva se queda fija	Remordimiento	Tiempo de uso y falta de mantenimiento	La tolva no recorre y no se puede extraer la materia prima	2	3	7	42	Limpieza adecuada de la máquina y mantenimientos preventivos

AMFE SISTEMA DE ALIMENTACIÓN											
Elaborado por:	Producción	Marca:	-	Elaborado por:	Jairo De la Cruz						
Sección:	Inyección	Modelo:	-	Revisado por:	Ing. Christian Castro						
Sistema:	Alimentación	Serie:	-	Aprobado por:	Ing. Christian Castro						
Componente	Código	Función	Fallo Funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IP R	
			El agujero de extracción esta obstruido	Taponamiento	Falta de mantenimiento	La materia prima no se moviliza dentro del extractor	2	3	8	48	Limpieza adecuada de la máquina y mantenimientos preventivos
Secador	INY-ALI006	Secar la materia prima para así evitar imperfecciones en el producto	Recalentamiento de los bobinados	Sobrecalentamiento	Cambios excesivos de voltaje en la alimentación	Fundición de motor	1	4	6	24	Reparación y mantenimiento correctivo del motor.
			Perdida de potencia	Desconexión	Mala conexión en la instalación	Alteración en la velocidad de funcionamiento	1	3	5	15	Mantenimiento preventivo en los tiempos establecidos

AMFE SISTEMA DE ALIMENTACIÓN											
Elaborado por:	Producción	Marca:	-	Elaborado por:	Jairo De la Cruz						
Sección:	Inyección	Modelo:	-	Revisado por:	Ing. Christian Castro						
Sistema:	Alimentación	Serie:	-	Aprobado por:	Ing. Christian Castro						
Componente	Código	Función	Fallo Funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IP R	
Motor de carga	INY-ALI007	Girar para brindar movimiento y fuerza a partes mecánicas	Recalentamiento de los bobinados	Sobrecalentamiento	Cambios excesivos de voltaje en la alimentación	Fundición de motor	1	7	8	56	Reparación y mantenimiento correctivo del motor.
			Perdida de potencia	Desconexión	Mala conexión en la instalación	Alteración en la velocidad de funcionamiento	2	4	8	64	Mantenimiento preventivo en los tiempos establecidos
Pistón de inyección	INY-ALI008	Enviar la materia prima al molde a elevadas presiones	Torcedura de la barra de empuje	Desalineación	Golpes fuertes	Guías desalineadas o atascadas	3	8	4	96	Cambio del pistón
			Exceso de holgura	Desgaste	Tiempo de uso	El producto no sale completo	2	6	5	60	Mantenimiento y lubricación del pistón

AMFE SISTEMA DE ALIMENTACIÓN											
Elaborado por:	Producción	Marca:	-	Elaborado por:	Jairo De la Cruz						
Sección:	Inyección	Modelo:	-	Revisado por:	Ing. Christian Castro						
Sistema:	Alimentación	Serie:	-	Aprobado por:	Ing. Christian Castro						
Componente	Código	Función	Fallo Funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IP R	
Husillo	INY-ALI009	Accionar elementos que necesitas trabajar con elevadas presiones	Falta de presión al insertar la materia prima	Rotura	Golpes fuertes	El producto no sale completo	1	9	9	81	Cambio de husillo y evitar dejar caer materiales pesados
			Exceso de holgura	Desgaste	Tiempo de uso	Existe demasiado holgura y no existe suficiente fuerza para alimentar de materia prima	2	6	8	96	Establecer tiempos adecuados del mantenimiento preventivo y realizar de manera adecuada

3.4.3. Matriz AMFE del sistema de control

Tabla 23: AMFE sistema de control

AMFE SISTEMA DE CONTROL											
Área:	Producción	Marca:	-	Elaborado por:	Jairo De la Cruz						
Sección:	Inyección	Modelo:	-	Revisado por:	Ing. Christian Castro						
Sistema:	Control	Serie:	-	Aprobado por:	Ing. Christian Castro						
Componente	Código	Función	Fallo Funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IP R	
Panel de control	INY-CON001	Calibrar los diferentes parámetros de funcionamiento	Botón presionado	Desgaste	Tiempo de uso y falta de mantenimiento	No se pueden cambiar los parámetros de funcionamiento de la máquina	1	9	8	72	Revisión y mantenimiento correcto del panel de control
			Abolladuras sobre la caja de control	Roto	Golpes sobre la carcasa	Mal aspecto físico de la máquina	1	6	8	48	Evitar golpes sobre la carcasa
PLC's	INY-CON002	Recibir información y enviar señales a los actuadores	La computadora no recibirá señales	Quemado	Cambios excesivos de voltaje en la alimentación	No enviara señales a los actuadores	1	9	7	63	Cambio de PLC y ubicar reguladores de voltaje junto con un fusible
			El circuito permanecerá cerrado.	Desconectado	Montaje inadecuado	No enviara señales a los actuadores	1	7	6	42	Revisar el sistema eléctrico y su mantenimiento adecuado

AMFE SISTEMA DE CONTROL											
Área:	Producción	Marca:	-	Elaborado por:	Jairo De la Cruz						
Sección:	Inyección	Modelo:	-	Revisado por:	Ing. Christian Castro						
Sistema:	Control	Serie:	-	Aprobado por:	Ing. Christian Castro						
Componente	Código	Función	Fallo Funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IP R	
Pantalla de control de parámetros	INY-CON003	Observar los parámetros de funcionamiento de la máquina	Los parámetros no se observaran	Mala visibilidad	Tiempo de uso y falta de mantenimiento	No se puede observar los parámetros que se insertan en la máquina	2	7	8	112	Limpieza de la máquina
			Abolladuras sobre la carcasa de la pantalla	Roto	Golpes sobre la carcasa	Mal aspecto físico de la máquina	2	6	8	96	Evitar golpes sobre la carcasa
Computadora central	INY-CON004	Controlar todas las partes eléctricas y electrónicas de la máquina	La computadora se encuentra fuera de servicio	Quemado	Cambios excesivos de voltaje en la alimentación	No enviara señales a los actuadores	1	10	9	90	Cambio de computadora central y ubicación de caja de fusibles
			La computadora se encuentra fuera de servicio	Desconectado	Montaje inadecuado	No enviara señales a los actuadores	1	6	7	42	Revisar el sistema eléctrico y su mantenimiento adecuado

3.4.4. Matriz AMFE del sistema de refrigeración

Tabla 24: AMFE sistema de refrigeración

AMFE SISTEMA DE REFRIGERACIÓN											
Área:	Producción	Marca:	-	Elaborado por:	Jairo De la Cruz						
Sección:	Inyección	Modelo:	-	Revisado por:	Ing. Christian Castro						
Sistema:	Refrigeración	Serie:	-	Aprobado por:	Ing. Christian Castro						
Componente	Código	Función	Fallo Funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IP R	
Tomas de agua	INY-REF001	Recibir el agua de la bomba y conectar hacia las mangueras	Fugas de agua	Roto	Golpes sobre los terminales	Agua desparramando fuera del tanque de agua	2	5	8	80	Cambio de las tomas de agua y aclarado de roscas
			Fugas de agua	Aislado de rosca	Montaje inadecuado	Mal ajuste de acoples sobre las bases	2	4	7	56	Aclarado de roscas y buen ajuste de las tomas de agua
Llaves de agua	INY-REF002	Permitir el paso libremente del agua hacia las mangueras.	Fugas de agua	Roto	Golpes sobre la llave	Agua desparramando sobre la máquina	2	6	8	96	Evitar golpes y cambio de llaves de agua
			Fugas de agua	Aislado de rosca	Montaje inadecuado	Mal ajuste de acoples que conectan a la llave con las mangueras	2	4	6	48	Aclarado de roscas y buen ajuste de las llaves de agua

AMFE SISTEMA DE REFRIGERACIÓN											
Área:	Producción	Marca:	-	Elaborado por:	Jairo De la Cruz						
Sección:	Inyección	Modelo:	-	Revisado por:	Ing. Christian Castro						
Sistema:	Refrigeración	Serie:	-	Aprobado por:	Ing. Christian Castro						
Componente	Código	Función	Fallo Funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IP R	
Mangueras	INY-REF003	Transportar el agua desde las tomas hacia los moldes para el enfriamiento	Fugas de agua	Roto	Golpes sobre las mangueras	Agua desparramado fuera de la máquina	3	5	7	105	Evitar golpes sobre la manguera y cambiarlas
			Falta de presión	Taponamiento	Tiempo de uso y falta de mantenimiento	No existe suficiente presión en el sistema para el enfriamiento adecuado	2	4	5	40	Limpieza del sistema de refrigeración
Bomba de agua	INY-REF004	Brindar elevadas presiones de agua para así poder enfriar el molde	Falta de presión	Perdida de potencia	Tiempo de uso	No existe suficiente presión en el sistema para el funcionamiento adecuado	1	6	7	42	Revisar la conexión de la bomba y dar mantenimiento
			Fugas de agua	Empaques dañados	Montaje inadecuado	Agua desparramado fuera de la máquina	2	7	7	98	Revisar el sistema de refrigeración y sus conexiones

AMFE SISTEMA DE REFRIGERACIÓN											
Área:	Producción	Marca:	-	Elaborado por:	Jairo De la Cruz						
Sección:	Inyección	Modelo:	-	Revisado por:	Ing. Christian Castro						
Sistema:	Refrigeración	Serie:	-	Aprobado por:	Ing. Christian Castro						
Componente	Código	Función	Fallo Funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IP R	
Conductos de agua	INY-REF005	Enfriar los moldes para tener un buen terminado en el producto	Fugas de agua	Roto	fisuras en los conductos	Agua desparramado fuera de la máquina	2	6	6	72	Evitar golpes sobre los conductos y limpiarlos
			Falta de presión	Taponamiento	Tiempo de uso y falta de mantenimiento	No existe suficiente presión en el sistema para el enfriamiento adecuado	2	7	6	84	Limpieza del sistema de refrigeración
Intercambiador	INY-REF006	Disipar la calor generada por la circulación del aceite	Fugas de agua	Roto	fisuras en los conductos del intercambiador	Agua desparramado fuera del intercambiador	1	7	9	63	Evitar golpes sobre el intercambiador y soldar el intercambiador
			Falta de presión	Taponamiento	Tiempo de uso y falta de mantenimiento	No existe suficiente presión en el sistema para el enfriamiento adecuado	2	7	8	112	Mantenimiento preventivo en los tiempos establecidos

3.4.5. Matriz AMFE del sistema hidráulico

Tabla 25: AMFE sistema hidráulico

AMFE SISTEMA HIDRAULICO											
Área:	Producción	Marca:	-	Elaborado por:	Jairo De la Cruz						
Sección:	Inyección	Modelo:	-	Revisado por:	Ing. Christian Castro						
Sistema:	Hidráulico	Serie:	-	Aprobado por:	Ing. Christian Castro						
Componente	Código	Función	Fallo Funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IP R	
Depósito de aceite	INY-HID001	Contener el aceite el cual va a ser distribuido por la bomba.	Aceite en mal estado	Sucio	Falta de mantenimiento	Taponamiento de filtros o mangueras	1	4	5	20	Mantenimiento adecuado dentro de los tiempos establecidos
			Fugas de aceite	Roto	Golpes sobre la estructura	Aceite desparramado fuera del tanque	2	7	7	98	Evitar golpes sobre el deposito
Acoples de alta presión de aceite	INY-HID002	Permitir conectar las mangueras de aceite hacia los cilindros de doble efecto.	Fugas de aceite	Roto	Golpes sobre los terminales	Aceite desparramado fuera del tanque	3	8	6	144	Cambio de acoples y revisar la rosca de acople
			Fugas de aceite	Aislado de rosca	Montaje inadecuado	Mal ajuste de acoples sobre las bases	3	7	5	105	Verificar el ajuste de los acoples y de ser necesario cambiar

AMFE SISTEMA HIDRAULICO											
Área:	Producción	Marca:	-	Elaborado por:	Jairo De la Cruz						
Sección:	Inyección	Modelo:	-	Revisado por:	Ing. Christian Castro						
Sistema:	Hidráulico	Serie:	-	Aprobado por:	Ing. Christian Castro						
Componente	Código	Función	Fallo Funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IPR	
Bomba de aceite	INY-HID003	Brindar elevadas presiones de aceite que está en el depósito para enviar hacia las diferentes partes móviles	Falta de presión	Perdida de potencia	Tiempo de uso	No existe suficiente presión en el sistema para el funcionamiento adecuado	1	8	5	40	Revisar la conexión de la bomba y dar mantenimiento
			Fugas de aceite	Empaques dañados	Montaje inadecuado	Aceite desparramado fuera del tanque	2	7	4	56	Revisar el sistema hidráulico y sus conexiones
Filtros de aceite	INY-HID004	Filtrar aceite para que este circule libre de impurezas	Fugas de aceite	Empaques mal ubicado	Montaje inadecuado	Aceite desparramado fuera del tanque	2	5	7	70	Revisar el sistema hidráulico y sus conexiones
			Falta de presión	Filtro sucio	Tiempo de uso y falta de mantenimiento	No existe suficiente presión en el sistema para el funcionamiento adecuado	2	6	6	72	Limpieza del depósito y cambio de filtro
Mangueras de alta presión	INY-HID005	Transportar aceite desde la bomba	Fugas de aceite	Roto	Golpes sobre las mangueras	Aceite desparramado fuera del tanque	2	6	7	84	Cambio de mangueras y mantenimiento de manera adecuada

AMFE SISTEMA HIDRAULICO											
Área:	Producción	Marca:	-	Elaborado por:	Jairo De la Cruz						
Sección:	Inyección	Modelo:	-	Revisado por:	Ing. Christian Castro						
Sistema:	Hidráulico	Serie:	-	Aprobado por:	Ing. Christian Castro						
Componente	Código	Función	Fallo Funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IPR	
		hacia diferentes elementos.	Falta de presión	Taponamiento	Tiempo de uso y falta de mantenimiento	No existe suficiente presión en el sistema para el funcionamiento adecuado	2	7	6	84	Limpieza de mangueras y realizar mantenimiento en tiempos establecidos
Cilindros hidráulicos de doble efecto	INY-HID006	Abrir o cerrar los moldes	Fugas de aceite	Aislado de rosca	Montaje inadecuado	Mal ajuste de las mangueras sobre los cilindros de doble efecto	1	8	7	56	Realizar las roscas para los acoples del aceite
			Fugas de aceite	Empaques mal ubicado	Montaje inadecuado	Aceite desparramado fuera del cilindro de doble efecto	2	8	6	96	Revisar el sistema hidráulico y sus conexiones
Empaques	INY-HID007	Sellar las diferentes partes por donde circula el aceite	Fugas de aceite	Empaques mal ubicado	Montaje inadecuado	Aceite desparramado fuera del cilindro de doble efecto	1	5	6	30	Cambios de empaques y un correcto armado del sistema
			Fugas de aceite	Empaques rotos	Montaje inadecuado	Aceite desparramado fuera del cilindro de doble efecto	2	4	5	40	Cambios de empaques y un correcto armado del sistema

3.4.6. Matriz AMFE del sistema eléctrico

Tabla 26: AMFE sistema eléctrico

AMFE SISTEMA ELECTRICO											
Área:	Producción	Marca:	-	Elaborado por:	Jairo De la Cruz						
Sección:	Inyección	Modelo:	-	Revisado por:	Ing. Christian Castro						
Sistema:	Eléctrico	Serie:	-	Aprobado por:	Ing. Christian Castro						
Componente	Código	Función	Fallo Funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IP R	
Botón de paro de emergencia	INY-ELE001	Parar el funcionamiento inmediato de la máquina en caso de accidentes	El botón se encuentra presionado	Atascamiento	Golpes sobre el botón	La máquina no realizara el trabajo	2	9	8	144	Cambio del botón de paro de emergencia
			El botón no realiza ningún trabajo	Desconectado	Montaje inadecuado	La máquina no realizara el trabajo	2	9	7	126	Conectar el botón de paro de emergencia
Foco de paro de la máquina	INYELE002	Notificar que la máquina no está en funcionamiento cuando ocurren accidentes o fallos.	El foco permanecer á apagado	Desconectado	Montaje inadecuado	La máquina no avisara de fallos o sistemas de seguridad dañados.	2	7	6	84	Conectar el foco de emergencia de la máquina
			El foco permanecer á apagado	Quemado	Fallas de la resistencia o cambios excesivos de voltaje	La máquina no avisaras de fallos o sistemas de seguridad dañados	1	7	8	56	Cambio de foco de emergencia de la máquina

AMFE SISTEMA ELECTRICO											
Área:	Producción	Marca:	-	Elaborado por:	Jairo De la Cruz						
Sección:	Inyección	Modelo:	-	Revisado por:	Ing. Christian Castro						
Sistema:	Eléctrico	Serie:	-	Aprobado por:	Ing. Christian Castro						
Componente	Código	Función	Fallo Funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IP R	
Breaker	INY-ELE003	Abrir o cerrar el circuito eléctrico para encender o apagar la máquina.	El circuito permanecer á cerrado.	Quemado	Montaje inadecuado	La máquina no se encenderá ni se apagará	2	9	6	108	Cambio de Breaker
			El circuito permanecer á abierto.	Salto de Breaker	Mala selección del Breaker	La máquina se apagará de manera repentina	2	8	6	96	Cambio de Breaker por uno adecuado para esa función
Socket	INY-ELE004	Unir cables con los PLC's o computadora central para una mejor conexión.	El circuito permanecer á cerrado	Quemado	Montaje inadecuado	No pasará corriente al circuito	1	7	6	42	Cambio de socket y una adecuada conexión
			El circuito permanecer á cerrado	Desconectado	Montaje inadecuado	No pasará corriente al circuito	2	8	6	96	Revisión del sistema eléctrico
Finales de carrera	INYELE005	Controlar si la puerta se encuentra abierta o cerrada para el	El circuito permanecer á abierto.	Desconectado	Montaje inadecuado	No dará señales de que la puerta este cerrada	2	8	7	112	Revisión del sistema eléctrico

AMFE SISTEMA ELECTRICO											
Área:	Producción	Marca:	-	Elaborado por:	Jairo De la Cruz						
Sección:	Inyección	Modelo:	-	Revisado por:	Ing. Christian Castro						
Sistema:	Eléctrico	Serie:	-	Aprobado por:	Ing. Christian Castro						
Componente	Código	Función	Fallo Funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IP R	
		funcionamiento de la máquina	El final de carrera se encuentra presionado	Atascamiento	Falta de limpieza y lubricación	No enviara señales correctas	2	7	7	98	Cambio de finales de carrera
Niquelinas	INY-ELE006	Calentar el cañón para así poder derretir la materia prima para que esta ingrese al molde	Las niquelinas no se calientan	Quemadas	Tiempo de uso	El cañón no calentara y la materia prima permanecerá en estado solido	4	9	8	288	Cambio de niquelinas y una adecuada calibración
			Las niquelinas se encuentran frías	Calibración inadecuada	Falta de mantenimiento	No calentaran lo suficiente para el respectivo producto	5	7	7	245	Revisar parámetros de funcionamiento de las máquinas
Relés	INY-ELE007	Permitir la abertura o cierre de circuitos eléctricos por	La computadora no recibirá señales	Quemado	Cambios excesivos de voltaje en la alimentación	No pasara corriente al circuito	2	8	5	80	Cambio de relés por unos adecuados

AMFE SISTEMA ELECTRICO											
Área:	Producción	Marca:	-	Elaborado por:	Jairo De la Cruz						
Sección:	Inyección	Modelo:	-	Revisado por:	Ing. Christian Castro						
Sistema:	Eléctrico	Serie:	-	Aprobado por:	Ing. Christian Castro						
Componente	Código	Función	Fallo Funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IP R	
		medio de bobinas	El circuito permanecer á cerrado.	Desconectado	Montaje inadecuado	No pasara corriente al circuito	2	7	6	84	Revisión del sistema eléctrico
Cables	INY-ELE008	Transportar la energía eléctrica de un componente a otro	El circuito permanecer á abierto.	Quemados	Cambios excesivos de voltaje en la alimentación	No pasara corriente al circuito	1	7	7	49	Cambios de cables del sistema eléctrico
			El circuito permanecer á abierto.	Rotos	Golpes o material cerca del cable	No pasara corriente al circuito	1	8	8	64	Cambios de cables del sistema eléctrico
Transformador	INY-ELE009	Aumentar en voltaje o la intensidad de corriente para el uso de diferentes máquinas	El circuito permanecer á abierto.	Desconectado	Montaje inadecuado	No existirá corriente para el funcionamiento de la maquina	1	8	7	56	Revisión del sistema eléctrico

AMFE SISTEMA ELECTRICO											
Área:	Producción	Marca:	-	Elaborado por:	Jairo De la Cruz						
Sección:	Inyección	Modelo:	-	Revisado por:	Ing. Christian Castro						
Sistema:	Eléctrico	Serie:	-	Aprobado por:	Ing. Christian Castro						
Componente	Código	Función	Fallo Funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IP R	
			Alimentación insuficiente para la máquina	Sobrealimentación	Cambios excesivos de voltaje en la alimentación	La alimentación de la máquina será la inadecuada para su funcionamiento	1	9	8	72	Utilizar reguladores de voltaje y fusibles de seguridad
Contactores	INY-ELE010	Abrir o cerrar circuitos que estén con carga para así proteger el sistema eléctrico	El circuito permanecerá cerrado.	Quemado	Montaje inadecuado	La máquina no se encenderá ni se apagará	1	7	6	42	Cambios de Contactores
			El circuito permanecerá abierto.	Desconectado	Montaje inadecuado	No existirá corriente para el funcionamiento de la máquina	2	7	7	98	Revisión del sistema eléctrico

AMFE SISTEMA ELECTRICO											
Área:	Producción	Marca:	-	Elaborado por:	Jairo De la Cruz						
Sección:	Inyección	Modelo:	-	Revisado por:	Ing. Christian Castro						
Sistema:	Eléctrico	Serie:	-	Aprobado por:	Ing. Christian Castro						
Componente	Código	Función	Fallo Funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IPR	
Cables de alta tensión	INY-ELE011	Transportar la energía eléctrica de un componente a otro	El circuito permanecer á abierto.	Quemados	Cambios excesivos de voltaje en la alimentación	No pasara corriente al circuito	1	8	7	56	Cambios de cables del sistema eléctrico
			El circuito permanecer á abierto.	Rotos	Golpes o material cerca del cable	No pasara corriente al circuito	1	8	8	64	Cambios de cables del sistema eléctrico

Una vez desarrollada la matriz AMFE la cual está separada por sistemas que componen la máquina inyectora de plástico determinamos que el sistema más propenso a tener fallos es el sistema mecánico ya que en este sistema consta de diferentes partes móviles las cuales estas propensas a desgaste o golpes durante el funcionamiento por lo cual se determina que los fallos ocurridos en este sistema deben ser tratados de manera rápida para así evitar paros prolongados en la producción, de la misma manera el sistema que es menos propenso a tener fallos es el sistema de control.

3.5 Bitácoras de mantenimiento preventivo

A continuación, presentamos las gamas de mantenimiento en donde podemos detallar actividades las cuales nos ayudaran con el mantenimiento preventivo de las maquinas inyectoras de plástico de la misma manera estas actividades están detalladas por los diferentes sistemas que constituyen la máquina.

Para las gamas de mantenimiento se utilizarán los meses y estos se dividirán en 4 partes las cuales constituyen las semanas de los mismos, esto se utilizará por facilidad y espacio, para poder diferenciar las actividades que se desarrollan diariamente o semanalmente se utilizara un código de colores para así evitar confusiones.

En el cuadro que se detalla luego podemos observar que se utilizan diferentes colores los cuales nos ayudan a determinar las diferentes actividades y los tiempos sobre los cuales se deben desarrollar dichas actividades de mantenimiento preventivo de las maquinas inyectoras de plástico.

Tabla 27: Colores para las actividades de mantenimiento.

DIARIO	
SEMANAL	
MENSUAL	
TRIMESTRAL	
SEMESTRAL	
ANUAL	

3.5.1. Gama de mantenimiento del sistema mecánico

Tabla 28: Gama de mantenimiento del sistema mecánico

GAMA DE MANTENIMIENTO SISTEMA MECANICO																																																
Area:	Producción				Marca:	-				Elaborado por:	Jairo De la Cruz																																					
Sección:	Inyección				Modelo:	-				Revisado por:	Ing. Christian Castro																																					
Sistema:	Mecánico				Serie:	-				Aprobado por:	Ing. Christian Castro																																					
Actividades	Ene.				Feb.				Mar.				Abr.				May				Jun				Jul				Ago				Sep				Oct				Nov				Dic			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Limpieza externa de la máquina																																																
Revisión de los pernos de ajuste del molde																																																
Revisión de las abrazaderas de sujeción del molde																																																
Revisión de las puertas de seguridad de la máquina																																																
Reajuste de los expulsores																																																
Revisión y lubricación del husillo																																																
Revisión de rodamientos																																																
Limpieza y pulido de las bases del molde																																																
Revisión y lubricación del pistón																																																
Limpieza de la estructura interna de la máquina																																																
Ubicación de material sintético para protección de la coraza																																																

3.5.2. Gama de mantenimiento del sistema de alimentación

Tabla 29: Gama de mantenimiento del sistema de alimentación

GAMA DE MANTENIMIENTO SISTEMA ALIMENTACIÓN																																																
Area:	Producción				Marca:	-				Elaborado por:	Jairo De la Cruz																																					
Sección:	Inyección				Modelo:	-				Revisado por:	Ing. Christian Castro																																					
Sistema:	Alimentación				Serie:	-				Aprobado por:	Ing. Christian Castro																																					
Actividades	Ene.				Feb.				Mar.				Abr.				May.				Jun.				Jul.				Ago.				Sep.				Oct.				Nov.				Dic.			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Limpieza de la tolva																																																
Revisión de la temperatura de las niquelinas																																																
Revisión y limpieza del extractor de materia prima																																																
Retirar y limpiar la punta del cañón																																																
Revisión de la conexión del secador																																																
Revisión y limpieza del piston de inyección																																																
Limpieza de las niquelinas																																																
Revisar la conexión eléctrica del motor de carga																																																
Limpieza del cañón																																																

3.5.4. Gama de mantenimiento del sistema de refrigeración

Tabla 31: Gama de mantenimiento del sistema de refrigeración

GAMA DE MANTENIMIENTO SISTEMA REFRIGERACIÓN																																																
Area:	Producción				Marca:	-				Elaborado por:	Jairo De la Cruz																																					
Sección:	Inyección				Modelo:	-				Revisado por:	Ing. Christian Castro																																					
Sistema:	Refrigeración				Serie:	-				Aprobado por:	Ing. Christian Castro																																					
Actividades	Ene.				Feb.				Mar.				Abr.				May				Jun				Jul				Ago				Sep				Oct				Nov				Dic			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Revisión de las tomas de agua	[Blue shaded cells]																																															
Revisión de las llaves de agua	[Blue shaded cells]																																															
Revisión de fugas en las mangueras de agua	[Orange shaded cells]																																															
Revisión de la bomba de agua	[White cells with brown bars on 4th of Mar, Jun, Sep, and 4th of Dec]																																															
Limpieza de los conductos de agua	[White cells with brown bar on 4th of Mar and 4th of Dec]																																															
Limpieza del intercambiador	[White cells with purple bar on 4th of Jun]																																															
Cambio de agua del sistema de refrigeración	[White cells with yellow bar on 4th of Dec]																																															

3.5.5. Gama de mantenimiento del sistema hidráulico

Tabla 32: Gama de mantenimiento del sistema hidráulico

GAMA DE MANTENIMIENTO SISTEMA HIDRAULICO																																																
Area:	Producción				Marca:	-				Elaborado por:	Jairo De la Cruz																																					
Sección:	Inyección				Modelo:	-				Revisado por:	Ing. Christian Castro																																					
Sistema:	Hidraulico				Serie:	-				Aprobado por:	Ing. Christian Castro																																					
Actividades	Ene.				Feb.				Mar.				Abr.				May				Jun				Jul				Ago				Sep				Oct				Nov				Dic			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Revisión de las mangueras de alta presión de aceite																																																
Revisión de los acoples de alta presión																																																
Revisión del manómetro de presión del aceite																																																
Revisión de los empaques del depósito y de la bomba de aceite																																																
Reajuste de las tomas aceite																																																
Limpieza del filtro																																																
Revisión de la bomba de aceite																																																
Filtrado de aceite y cambio de filtro																																																
Limpieza del depósito de aceite																																																

3.5.6. Gama de mantenimiento del sistema eléctrico

Tabla 33: Gama de mantenimiento del sistema eléctrico

GAMA DE MANTENIMIENTO SISTEMA ELECTRICO																																																
Area:	Producción				Marca:	-				Elaborado por:	Jairo De la Cruz																																					
Sección:	Inyección				Modelo:	-				Revisado por:	Ing. Christian Castro																																					
Sistema:	Eléctrico				Serie:	-				Aprobado por:	Ing. Christian Castro																																					
Actividades	Ene.				Feb.				Mar.				Abr.				May.				Jun.				Jul.				Ago.				Sep.				Oct.				Nov.				Dic.			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Revisión del botón de paro de emergencia																																																
Limpieza de los finales de carrera																																																
Revisión del foco de paro de emergencia																																																
Revisión del cable de alimentación este conectado																																																
Revisión de los cables de alta tensión																																																
Revisión de fusibles del gabinete eléctrico																																																
Revisión de la conexión del motor trifásico																																																
Revisión del socket de encendido																																																
Revisión de los relés																																																
Revisión y limpieza de del transformador																																																

Mediante las gamas mostradas anteriormente podemos detallar que estas están enfocadas con actividades de acuerdo con los objetivos del TPM, las cuales van encaminadas a la mejora continua en la producción para así evitar paradas durante los diferentes métodos de mantenimiento preventivo al realizar las actividades de mantenimiento preventivo garantizamos el correcto funcionamiento de las máquinas inyectoras de plástico ya que con esto podemos garantizar que los productos que se obtienen en las maquinas son de una calidad garantizada.

Las gamas de mantenimiento nos ayudan a que las actividades diarias puedan ser desarrolladas por los operarios y que sean de manera rápida para así poder tener un mantenimiento preventivo efectivo lo cual nos garantiza que este debe ser un mantenimiento autónomo por parte de la empresa.

Las actividades descritas nos detallan los tiempos establecidos para poder realizar dichas actividades dentro de los tiempos ya programados y así poder encontrar diferentes variaciones dentro de la producción las cuales pueden afectar a la calidad del producto, todas las actividades deben ser desarrolladas dentro de los tiempos para así poder tener un estadístico adecuado de los mismos.

Mediante las actividades descritas podemos encontrar que estas están relacionadas con la producción la cual debe tener un excelente estado, con esto se garantiza el tener un mantenimiento adecuado el cual es de calidad para poder salir adelante dentro de la empresa.

Los operarios deberán ser capacitados por la empresa para que estos puedan identificar diferentes fallas que se pueden encontrar en las máquinas inyectoras de plástico y así poder reportar las mismas al departamento de mantenimiento.

Los operarios y el personal de mantenimiento de la empresa deben tener los equipos de protección personal adecuados para desarrollar las actividades de mantenimiento preventivo descritas en las gamas de mantenimiento.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Mediante el presente proyecto se ha investigado sobre las diferentes partes y sistemas de una maquina inyectora de plástico, esta investigación se ha podido desarrollar por medio de manuales de las máquinas, así mismo se ha investigado en páginas web las cuales nos facilitan información sobre las diferentes fallas que pueden ocurrir en cada uno de los componentes de las máquinas inyectoras de plástico, se ha detallado mediante la Tabla 12 todas las parte todas las partes de la maquina inyectora de plástico.
- Los parámetros definidos para los mantenimientos preventivos de la máquina inyectora de plástico de la empresa HALLEY CORPORACIÓN C.L. fueron tomados de los manuales otorgados por el fabricante, los manuales de las máquinas inyectoras de plástico proporcionan información de todos los sistemas de las maquinas inyectoras de plástico los cuales están detallados desde la Tabla 6 hasta la Tabla 11 en donde se describen las fichas técnicas de las diferentes maquinas existentes en la empresa, cada sistema que conforma las maquinas tienen sus propias actividades a desarrollarse dentro de plazos establecidos.
- Se ha utilizado el método de Weibull tanto grafico como el método matemático en donde hemos obtenidos una ecuación $y = 1,737e^{-0,035x}$ la cual es exponencial y tiene correlación con todos los valores, de la misma manera tenemos que para una fiabilidad 90.97% el cual se obtiene en un tiempo de operación de 11 horas de la maquina inyectora y un valor de 1.17% el cual se obtiene en un tiempo de operación de 122 horas, estos valores nos ayudan a determinar que mientras mayor sea el tiempo de operación de la máquina pueden existir una mayor probabilidad de fallas.

- Se ha desarrollado una matriz AMFE la cual nos ayuda a determinar las diferentes fallas existentes en las maquinas inyectoras de plástico, así mismo podemos determinar con valores superiores a 100 que tenemos fallas las cuales pueden recurrir a una para, así mismo se determina los elementos críticos que existen en la maquina inyectora de plástico.
- En las gamas de mantenimiento se han determinado mantenimientos preventivos de los diferentes sistemas y componentes de las maquinas inyectoras de plástico, estas actividades están detalladas para que sean realizadas en tiempos establecidos para así evitar paros en la producción, se ha utilizado una variedad de colores las cuales nos ayudan a identificar los lapsos sobre los cuales deben ser desarrollados los mantenimientos.

5.2. Recomendaciones

- Para desarrollar el métodos grafico de Weibull se debe tener en cuenta los parámetros utilizados y los valores de β los cuales deben ser asumidos para que posteriormente puedan ser utilizados de una manera correcta en la aplicación de la formula y así obtener valores más cercanos posibles a los reales, así mismo para el método grafico ocupar una hoja de cálculo la cual nos facilitara los cálculos que deben ser desarrollados.
- Para la obtención de datos estadísticos dentro de la empresa se debe tener en cuenta los tiempos de para y tiempos en que se desarrollan el mantenimiento preventivo los cuales son distintos para así obtener valores reales para realizar los diferentes cálculos, así mismo se debe analizar el estado actual de las maquinas sobre las cuales se va a aplicar el mantenimiento preventivo.
- Para poder realizar el estadístico de las máquinas se debe tener los datos más actuales posibles ya que estos nos ayudaran a determinar el estado actual de la máquina y como está funcionando, así mismo nos dará indicios de como poder detallar los diferentes mantenimientos preventivos y los lapsos sobre los cuales van a ser desarrollados.

Bibliografía

- [1] M. F. R. Rangel, «Implementación de los pilares TPM,» Trabajo de Grado , Bucaramanga, 2011.
- [2] E. Fernandez, «Gestión de Mantenimiento: Lean Maintenance y TPM,» Trabajo de Grado, Oviedo, 2018.
- [3] C. G. Santos, MANTENIMIENTO, Bogota: ceroaverias, 2017.
- [4] E. Lopez, EL MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL TPM Y LA IMPORTANCIA DEL RECURSO HUMANO PARA SU EXITOSA IMPLEMENTACIÓN, Bogota: Trabajo de Grado, 2009.
- [5] L. Lopez, «kanban,» kanban, 25 Octubre 2009. [En línea]. Available: <https://kanbantool.com/es/guia-kanban/mantenimiento-productivo-total>. [Último acceso: 09 Noviembre 2021].
- [6] T. Violeta, MRP II Aplicado al mantenimiento productivo total, Lima: Trabajo de grado, 2018.
- [7] J. D. Navarro, Tecnicas de mantenimiento industrial, Mexico: Serie Manuales, 2015.
- [8] Mariano, «tecnologiadelosplasticos,» tecnologiadelosplastico, 13 Junio 2011. [En línea]. Available: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/inyeccion-de-materiales-plasticos-i.html>. [Último acceso: 13 Enero 2022].
- [9] J. Rodriguez, «comunidad socialab,» comunidad socialab, 05 Enero 2021. [En línea]. Available: <https://comunidad.socialab.com/challenges/jovenes/idea/21867>. [Último acceso: 13 Enero 2022].
- [10] D. Gabriel, «quiminet,» quiminet, 30 Noviembre 2011. [En línea]. Available: <https://www.quiminet.com/articulos/el-funcionamiento-de-la-maquina-inyectora-de-plastico-2643461.htm#:~:text=La%20m%C3%A1quina%20con%20la%20que,de%20darle%20forma%20y%20enfriarla.&text=Se%20eleva%20la%20temperatura%20para,cuando%20se%20le%20aplica%20presi>. [Último acceso: 13 Enero 2022].
- [11] HAITIAN, USER MANUAL HAITIAN SERIES, Ningbo: MOULDING MACHINE, 2015, pp. 2-15.
- [12] A. Gomez, Manual del Ingeniero de Mantenimiento, Mc Graw Hill, 2001.

- [13] seguas, «seguas,» seguas, 25 Marzo 2018. [En línea]. Available: <https://www.seguas.com/la-importancia-del-mantenimiento-en-instalaciones-industriales/#:~:text=El%20mantenimiento%20industrial%20se%20puede,que%20componen%20esas%20instalaciones%20industriales..> [Último acceso: 17 Enero 2022].
- [14] Gestión Moderna del Mantenimiento Industrial, Bogota: Ediciones de la U, 2012.
- [15] Carola Gómez Santos, MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL, Las palmas: Cerca de 6,160,000 resultados (0.59 segundos) , 2011.
- [16] A. Ferrera, «predictiva21,» predictiva21, 23 Agosto 2016. [En línea]. Available: <https://predictiva21.com/analisis-weibull-ejemplos/#:~:text=El%20an%C3%A1lisis%20de%20Weibull%20es,en%20datos%20medidos%20o%20asumidos.&text=El%20modelo%20Weibull%20tiene%20una,fallo%20crecientes%2C%20decrecientes%20o%20constantes..> [Último acceso: 18 Enero 2022].
- [17] esan, «esan,» esan, 9 Enero 2020. [En línea]. Available: <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2020/01/que-es-la-matriz-amfe-y-para-que-sirve-1/>. [Último acceso: 18 Enero 2022].
- [18] isotools, «isotools,» isotools, 12 Julio 2019. [En línea]. Available: <https://www.isotools.org/2019/07/12/matriz-amfe-o-analisis-modal-de-fallos-y-efectos/#:~:text=Matriz%20AMFE-,La%20matriz%20AMFE%20o%20an%C3%A1lisis%20modal%20de%20fallos%20y%20efectos,encuentra%20en%20fase%20de%20dise%C3%B1o.&text=La%20matriz%20AMFE%20ayu.> [Último acceso: 18 Enero 2022].
- [19] I. Lopez, «ingenieriaindustrialonline,» ingenieriaindustrialonline, 01 Noviembre 2019. [En línea]. Available: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/lean-manufacturing/mantenimiento-productivo-total-tpm/>.. [Último acceso: 18 Enero 2022].
- [20] [En línea]. Available: <https://www.seguas.com/la-importancia-del-mantenimiento-en-instalaciones-industriales/#:~:text=El%20mantenimiento%20industrial%20se%20puede,que%20componen%20esas%20instalaciones%20industriales..>

ANEXOS

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

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

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

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

2. DEFINICIONES DE TÉRMINOS FUNDAMENTALES DEL AMFE

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

Cliente o usuario

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

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

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

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

Producto

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

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

Seguridad de funcionamiento

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

Detectabilidad

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

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

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

Frecuencia

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

Gravedad

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

Índice de Prioridad de Riesgo (IPR)

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

$$IPR = D.G.F$$

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

3. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

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

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

Denominación del componente e identificación

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

Parte del componente. Operación o función

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

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

Fallo o Modo de fallo

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

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

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

Efecto/s del fallo

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

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

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

Causas del modo de fallo

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

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

Ejemplo de AMFE de diseño:

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

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

Ejemplo AMFE de proceso:

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

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

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

Medidas de ensayo y control previstas

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

Gravedad

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

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

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

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

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

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

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

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

Frecuencia

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

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

La única forma de reducir el índice de frecuencia es:

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

Controles actuales

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

Detectabilidad

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

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

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

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

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

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

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

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

Índice de Prioridad de Riesgo (IPR)

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

Acción correctora

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

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

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

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

Responsable y plazo

Como en cualquier planificación de acciones correctoras se deberá indicar quien es el responsable de cada acción y las fechas previstas de implantación.

Acciones implantadas

Este apartado es opcional, no siempre lo contienen los métodos AMFE, pero puede ser de gran utilidad recogerlo para facilitar el seguimiento y control de las soluciones adoptadas. Se deben reflejar las acciones realmente im-

TABLA 4. Proceso de actuación para la realización de un AMFE de proceso

1. Disponer de un esquema gráfico del proceso productivo (lay-out).
2. Seleccionar procesos/operaciones clave para el logro de los resultados esperados.
3. Crear grupo de trabajo conocedor del proceso en sus diferentes aspectos. Los miembros del grupo deberían haber recibido previamente conocimientos de aplicación de técnicas básicas de análisis de fallos y del AMFE.
4. Recabar información sobre las premisas generales del proceso, funciones de servicio requeridas, exigencias de seguridad y salud en el trabajo y datos históricos sobre incidentes y anomalías generadas.
5. Disponer de información sobre prestaciones y fiabilidad de elementos clave del proceso.
6. Planificar la realización del AMFE, conducido por persona conocedora de la metodología.
7. Aplicar técnicas básicas de análisis de fallos. Es esencial el diagrama causa- efecto o diagrama de la espina de Isikawa.
8. Complimentar el formulario del AMFE, asegurando la fiabilidad de datos y respuestas por consenso.
9. Reflexionar sobre los resultados obtenidos y emitir conclusiones sobre las intervenciones de mejora requeridas.
10. Planificar las correspondientes acciones de mejora.

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

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

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.

Ambato, 26 de Abril de 2022

Sr.

JAIRO WLADIMIR DELA CRUZ CHAMBA

Estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica

Universidad Técnica de Ambato

Nosotros, José David Díaz Tubón en calidad de Jefe de Recursos Humanos y Néstor Javier Castro Arcos en calidad de Jefe de Mantenimiento de la Empresa HALLEY CORPORACIÓN C.L, ponemos en su conocimiento la aceptación y respaldo, para el proyecto de grado presentado con el tema: "DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO MEDIANTE EL METODO TPM PARA EL AREA DE PRODUCCION EN LAS SECCIONES DE INYECCION DE LA EMPRESA "HALLEY CORPORACIÓN C.L" determinando, que se ha cumplido con los objetivos que se han acordado mutuamente con anterioridad, por lo cual también se puede hacer público los datos que se utilizaron en el desarrollo del proyecto.

Particular comunicamos a usted para los trámites pertinentes.



Ing. José David Díaz Tubón

C.I.: 1803385643

Cel: 09 630 64579

Jefe de Recursos Humanos


CORPORACION



Tcigo. Néstor Javier Castro Arcos

C.I.: 1804426946

Cel: 099 579 6726

Jefe de Mantenimiento



Dir : Parroquia Montalvo- Barrio San Miguel

032 457319 – 0981405700 – 0997470178

AMBATO - TUNGURAHUA

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.

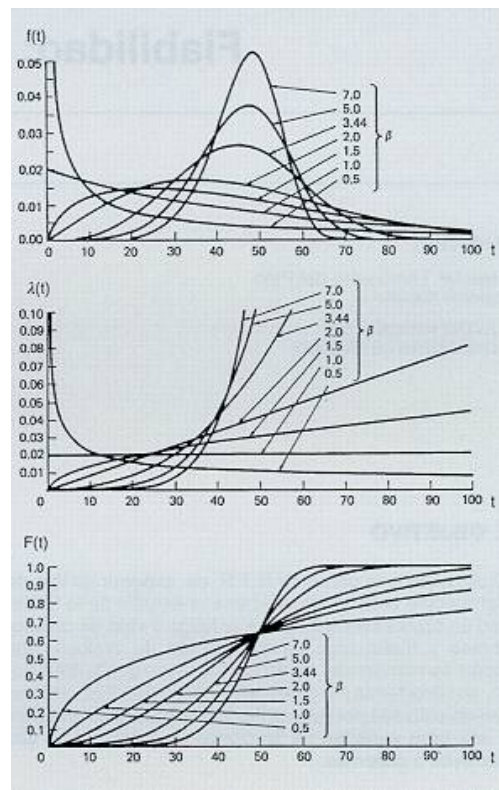


Fig. 1: Variación de la densidad de probabilidad $f(t)$, tasa de fallos $\lambda(t)$ y la función acumulativa de fallos $F(t)$ en función del tiempo para distintos valores del parámetro de forma β

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

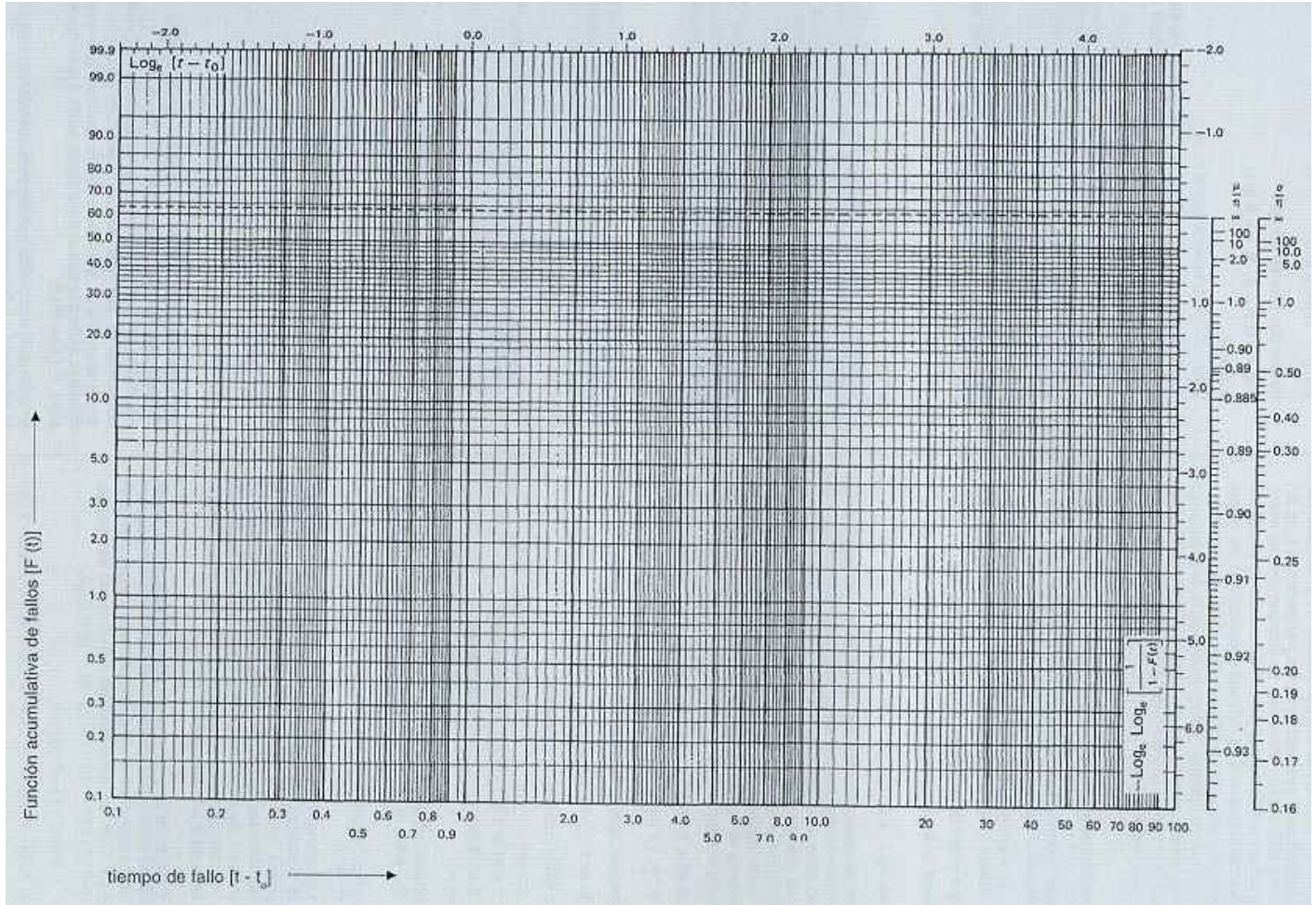


Fig. 2: Muestra del papel de Weibull

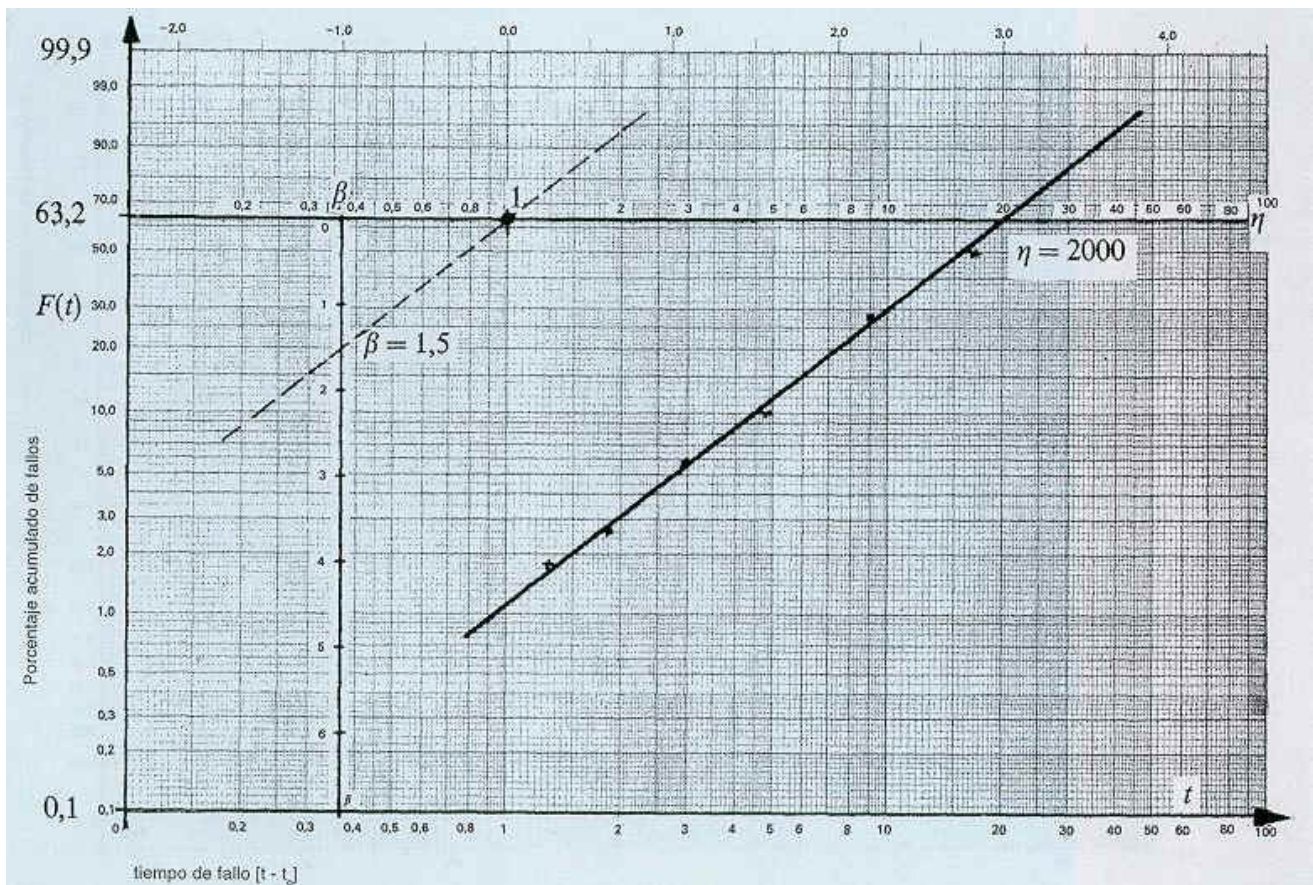


Fig. 3: Lectura de los parámetros h y β en el papel de Weibull

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 $F(t) = 63.2$.

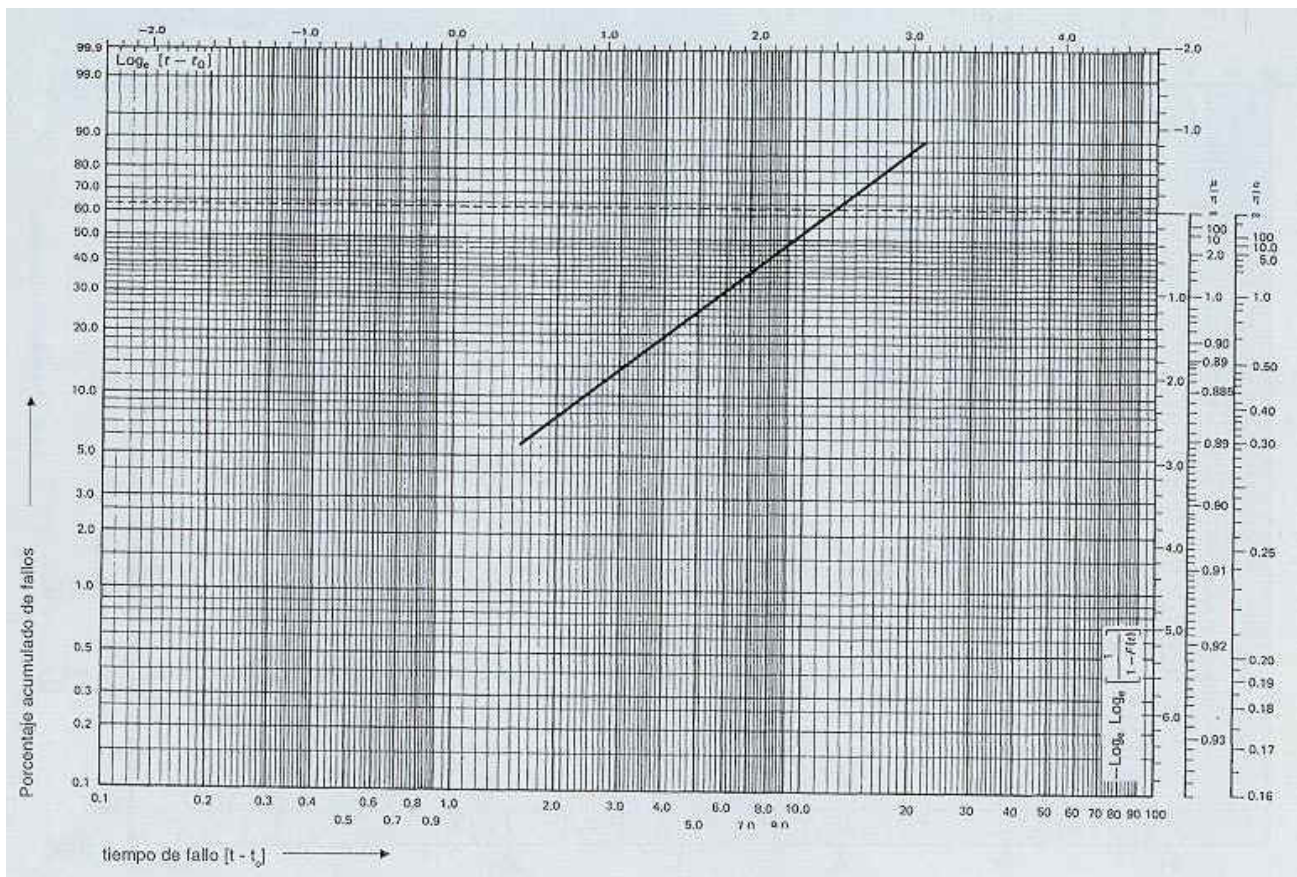


Fig. 4: Resolución gráfica del ejemplo

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:

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

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

La duración de vida media será :

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

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

La desviación tipo será :

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

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

Caso de $t_0 > 0$

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

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

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

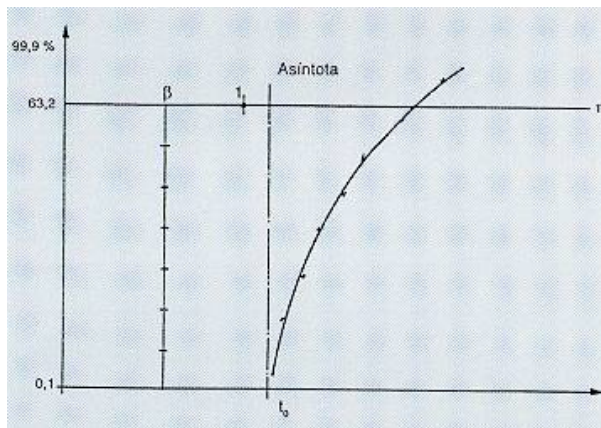


Fig. 5: Representación gráfica para el caso de $t_0 > 0$

sacando logaritmos neperianos:

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

y elevando a $1/\beta$ tendremos:

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

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

$$t' = t - t_0$$

t' = nuevo tiempo

t = antigua estimación

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

Caso de $t_0 < 0$

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

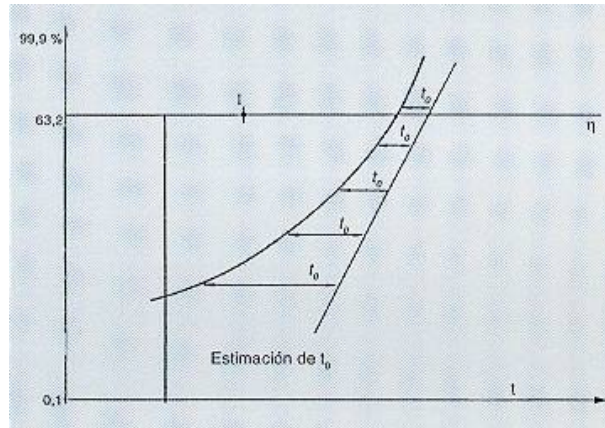


Fig. 6: Representación gráfica para el caso de $t_0 > 0$

Otro método de cálculo cuando $t_0 \neq 0$

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

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

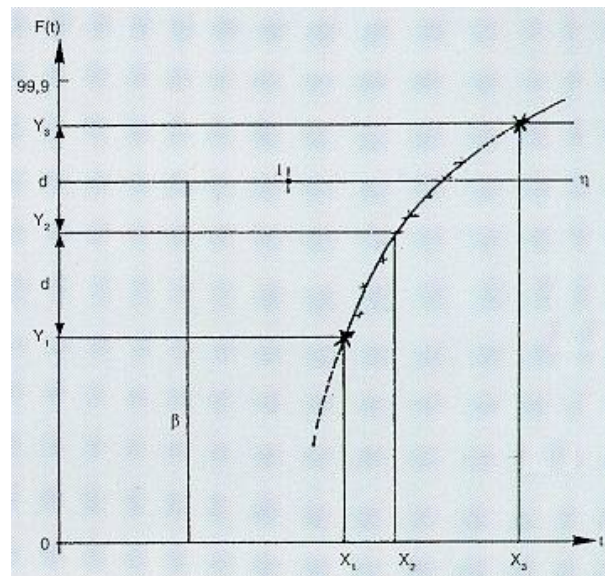


Fig. 7: Cálculo de t_0 por medio de transformaciones funcionales

Lógicamente se cumplirá la igualdad:

$$Y_2 - Y_1 = Y_3 - Y_2$$

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

$$X_2 - X_1 = X_3 - X_2$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

X_m es X medio asociado al Y_m obtenido.

De esta forma el valor de t_0 será :

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

Bibliografía

(1) BERTRAM L. AMSTADTER

Matemáticas de la fiabilidad - Fundamentos - Prácticas Procedimientos

Ed. Reverté, S.A. Barcelona (1976)

(2) ANTONIO CREUS SOLE

Fiabilidad y Seguridad. Su aplicación en procesos industriales

Marcombo Boixareu Editores. Barcelona (1992)

(3) J.MOTHES - J. TORRENS- IBERN

Estadística aplicada a la ingeniería

Ediciones Ariel. Esplugues de Llobregat (1970)

(4) PATRICK LYONNET

Los métodos de la calidad total

Ediciones Diaz de Santos, S.A. Madrid (1989)

(5) A.D.S. CARTER

Mechanical Reliability

Macmillan Education Ltd. London (1986)