



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

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA MECÁNICA

TEMA:

**“ANÁLISIS DE FALLOS Y MODOS DE FALLOS DE LOS GENERADORES
TÉRMICOS DE LA CENTRAL TÉRMICA LLIGUA DE LA EMPRESA
ELÉCTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S.A. Y SU
INCIDENCIA EN LA DISPONIBILIDAD”**

AUTORA: Roldán Toapanta Patricia Estefanía

TUTOR: Ing. Mg. Christian Byron Castro Miniguano

AMBATO - ECUADOR

Marzo - 2023

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniera Mecánico, con el tema **“ANÁLISIS DE FALLOS Y MODOS DE FALLOS DE LOS GENERADORES TÉRMICOS DE LA CENTRAL TÉRMICA LLIGUA DE LA EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S.A. Y SU INCIDENCIA EN LA DISPONIBILIDAD”**, elaborado por la Srta. Patricia Estefanía Roldán Toapanta, portadora de cédula de ciudadanía C.I. 1850444249, estudiante de la Carrera de Mecánica, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el trabajo experimental es original de su autora.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, marzo 2023



Ing. Mg. Christian Byron Castro Miniguano

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo, **Patricia Estefanía Roldán Toapanta**, con C.I. 1850444249 declaro que todos los contenidos y actividades expuestas en el presente Trabajo Experimental con el tema **“ANÁLISIS DE FALLOS Y MODOS DE FALLOS DE LOS GENERADORES TÉRMICOS DE LA CENTRAL TÉRMICA LLIGUA DE LA EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S.A. Y SU INCIDENCIA EN LA DISPONIBILIDAD”**, así como también las ideas, análisis, conclusiones y recomendaciones son de mi responsabilidad como autora del trabajo experimental, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, marzo 2023



Patricia Estefanía Roldán Toapanta
C.I. 1850444249
AUTORA

DERECHOS DE AUTOR

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

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental, 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, marzo 2023



Patricia Estefanía Roldán Toapanta
C.I. 1850444249
AUTORA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

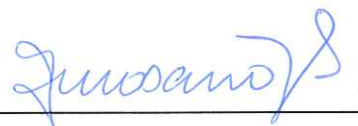
Los miembros del Tribunal de grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por la estudiante Patricia Estefanía Roldán Toapanta de la Carrera de Mecánica bajo el tema: **“ANÁLISIS DE FALLOS Y MODOS DE FALLOS DE LOS GENERADORES TÉRMICOS DE LA CENTRAL TÉRMICA LLIGUA DE LA EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S.A. Y SU INCIDENCIA EN LA DISPONIBILIDAD”**

Ambato, marzo 2023

Por constancia firman:



Ing. Mg. María Belén Paredes Robalino
MIEMBRO CALIFICADOR



Ing. Mg. José Luis Yunapanta Velastegui
MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mis queridos padres Héctor y Gladys, quienes, gracias a su esfuerzo diario y constancia, he logrado llegar hasta aquí, por formarme con tanto amor y respeto, quienes cuando he necesitado me han brindado una palabra de apoyo, una mano para poder levantarme, un hombro en donde apoyarme, una sonrisa para alegrarme, y sobre todo con su bendición diaria que se con certeza me han cuidado y protegido siempre.

A mis hermanos Mónica, Edwin y Abigail que han sido mis compañeros en esta trayectoria, quienes han estado presentes en cada etapa de mi vida cotidiana y estudiantil, gracias hermanos por su apoyo, por sus palabras, por sus bromas en el momento en el que más he necesitado, por siempre estar y a mis pequeños sobrinos Angy, Rouse, Elián que todas sus ocurrencias han sido mis alegrías.

A mis abuelitos Elías, Elena, María y Mariano que siempre confiaron en mí, que siempre me dijeron que si, “si se puede”, que no me rindiera, sus abrazos son mi lugar seguro.

A ti querido Chris que, a pesar de todo, tu apoyo incondicional, tus ánimos, tus palabras de apoyo nunca faltaron, siempre has estado presente expresándome cariño que ha sido fundamental en toda esta etapa.

Roldán Toapanta Patricia Estefanía

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios que sin él nada de esto sería posible, por darme la fuerza necesaria y sabiduría para concluir este escalón más, por enseñarme que un tropezón no es caída y si me caigo me tengo que levantar con mucha más fuerza, que de todos los errores se aprende.

A la Universidad Técnica de Ambato, la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Mecánica que me abrieron las puertas de todas sus instalaciones para poder adquirir los conocimientos necesarios para formarme como profesional y a todos los docentes que forman parte de esta prestigiosa carrera que transmitieron sus conocimientos y sabiduría.

Al Ingeniero Christian Castro quien, gracias a su ayuda e impartición de conocimiento, que con su tiempo y paciencia he podido culminar el presente trabajo de la mejor manera y así cumplir una meta más en mi vida.

A la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A. y de manera especial a los ingenieros pertenecientes a la Central Lligua por permitirme desarrollar el presente trabajo experimental en sus instalaciones y brindarme toda la información necesaria para concluir con este trabajo.

A mis compañeros de carrera, de manera especial a María José Tirado quien con su apoyo esto no sería posible, gracias por estar para las buenas y malas, por tu paciencia conmigo.

Un agradecimiento a todas las personas que con sus palabras me dieron un aliento en esta parte de mi vida estudiantil para continuar.

Roldán Toapanta Patricia Estefanía

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR.....	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
INDICE DE TABLAS Y FIGURAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
ÍNDICE DE ECUACIONES	xvi
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
CAPITULO I.....	1
MARCO TEORICO.....	1
1. Antecedentes Investigativos.....	1
2. Objetivos	2
2.1.1. Objetivo General:.....	2
2.1.2. Objetivos específicos:	2
2.1.3. Justificación:	3
3. Fundamentación Teórica.....	4
3.1.1. Mantenimiento industrial	4
3.1.2. Sistemas de Mantenimiento	4
3.1.3. Disponibilidad.....	8
3.1.4. Mantenibilidad	10
3.1.5. Fiabilidad	11
3.1.6. Efectuar un Análisis de criticidad CA	12
3.1.7. Falla.....	13

3.1.8.	Falla funcional.	13
3.1.9.	Falla potencial.....	13
3.2.	AMFE	13
3.2.1.	Análisis de fallos y modos de fallo.....	15
4.	Motor ALCO de 18 cilindros en V	16
4.1.1.	Características de los motores ALCO de 18 cilindros en V.	17
4.1.2.	Campos de aplicación y utilidad de los motores de 18 cilindros en V marca ALCO.....	19
4.1.3.	Principio de funcionamiento	20
CAPITULO II		21
METODOLOGÍA		21
2.1	Materiales y recursos	21
2.1.1.	Recursos Humanos.....	21
2.1.2.	Recursos Materiales	21
2.1.3.	Recursos Económicos	22
2.2	Métodos.....	22
2.2.1.	Nivel o tipo de investigación	23
2.3.	Hipótesis	23
Hipótesis Nula.....		23
Hipótesis Alternativa.....		23
CAPITULO III.....		26
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		26
3.1	DATOS GENERALES DE LA EMPRESA.....	26
3.1.1	UBICACIÓN	26
3.1.2	CENTRAL TÉRMICA LLIGUA_ SITUACIÓN ACTUAL.....	26
3.2	Inventario de máquinas	27
3.3	Fichas Técnicas	32
3.4	Motor ALCO para generador 1	32
3.4.	Parámetros.....	34

3.4.1.	Disponibilidad del Motor de Combustión Interna Grupo 1	36
3.4.2.	TO vs DISPONIBILIDAD MOTOR GRUPO 1	40
3.4.3.	Matriz AMFE del Motor de Combustión Interna Grupo 1	40
3.4.4.	Criticidad del Motor de Combustión Interna Grupo 1	49
3.5.	Determinación de la Fiabilidad del motor de combustión interna mediante el modelo matemático y gráfico de Weibull.....	52
3.5.1.	Modelo Matemático de Weibull del Motor de Combustión Interna Grupo 1	52
3.5.2.	Modelo Gráfico de Weibull del Motor de Combustión Interna Grupo 1	58
3.6.	MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA GRUPO 2	64
3.6.2.	TO vs DISPONIBILIDAD MOTOR GRUPO 2	70
3.6.3.	MATRIZ AMFE MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA GRUPO 2.....	71
3.6.4.	Criticidad Motor de Combustión Interna Grupo 2.....	77
3.6.5.	Modelo Matemático de Weibull del Motor de Combustión Interna Grupo 2	80
3.6.6.	Modelo Gráfico de Weibull del Motor de Combustión Interna Grupo 2	86
3.7.	GENERADOR SINCRÓNICO DE CORRIENTE ALTERNA GRUPO 1	89
3.7.1.	Disponibilidad del Generador Grupo 1	91
3.7.2.	TO vs DISPONIBILIDAD GENERADOR GRUPO 1	94
3.7.3.	Matriz AMFE del Generador Grupo 1	95
3.7.4.	Criticidad del Generador Sincrónico de corriente Alterna Grupo 1	103
3.7.5.	Modelo Matemático de Weibull del Generador Sincrónico de Corriente Alterna Grupo 1	106
3.7.6.	Modelo Gráfico de Weibull del Generador Grupo 1	112
3.8.	GENERADOR SINCRÓNICO DE CORRIENTE ALTERNA GRUPO 2.....	116
3.8.1.	Disponibilidad Generador Grupo 2.....	118
3.8.2.	Tiempo de Operación vs Disponibilidad Generador Grupo 2	122
3.8.3.	Matriz AMFE Generador Grupo 2.....	123
3.8.4.	Criticidad del Generador Grupo 2.....	130
3.8.5.	Modelo Matemático de Weibull del Generador del Grupo 2	133

3.8.6.	Modelo Grafico de Weibull del Generador Grupo 2	138
3.9.	Modelos Estadísticos	142
3.9.1.	Modelo Estadístico Motor Grupo 1	142
3.9.2.	Comprobación de la Hipótesis Motor Grupo 1	143
3.9.3.	Modelo Estadístico Motor Grupo 2	144
3.9.4.	Comprobación de la Hipótesis Motor Grupo 2.....	145
3.9.5.	Modelo Estadístico Generador Grupo 1	146
3.9.6.	Comprobación de la Hipótesis Generador Grupo 1	147
3.9.7.	Modelo Estadístico Generador Grupo 2	148
3.9.8.	Comprobación de la Hipótesis Generador Grupo 2.....	149
3.10.	Costos.....	150
CAPITULO IV		153
4.1	Conclusiones	153
4.2.	Recomendaciones	154
BIBLIOGRAFÍA		155
ANEXOS		158
Anexo 1. Papel de Weibull Motor Grupo 2		158
Anexo 2. Papel de Weibull Generador Grupo 1		159
Anexo 3. Papel de Weibull Generador Grupo 2		160
Anexo 4. NTP 679 – NTP 331		161

INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1 Puntuación de la criticidad.....	12
Tabla 2 Dimensiones del motor [16].....	17
Tabla 3 Características del motor 18 V [16].....	18
Tabla 4 Costos referentes al proyecto	22
Tabla 5 Inventario de máquinas	27
Tabla 6 Ficha técnica del motor de combustión interna para el generador 1.....	32
Tabla 7 Disponibilidad del motor de combustión interna grupo 1.....	36
Tabla 8 Criterios de Gravedad NTP 679 [18]	41
Tabla 9 Criterios de Frecuencia NTP 679 [18]	41
Tabla 10 Criterios de Detectabilidad NTP 679 [18]	42
Tabla 11 Matriz AMFE del Motor de Combustión Interna Grupo 1	43
Tabla 12 Factores Criticidad del Motor de Combustión Interna Grupo 1	49
Tabla 13 Jerarquización de los valores de la Criticidad.....	49
Tabla 14 Criticidad Motor de Combustión Interna Grupo 1	50
Tabla 15. Datos estadísticos del motor de combustión Interna Grupo 1.	52
Tabla 16. Varianza del motor de combustión Interna grupo 1.....	53
Tabla 17 Parámetros iniciales del Motor de Combustión Interna grupo 1	55
Tabla 18 Fiabilidad e Infiabilidad del motor de combustión Interna grupo 1	56
Tabla 19 Parámetros del modelo gráfico de Weibull del motor de Combustión Interna Grupo 1	58
Tabla 20 Parámetros de falla del motor de Combustión Interna grupo 1	61
Tabla 21 Tabla de porcentajes de Weibull.....	61
Tabla 22 Ficha técnica del Motor de Combustión Interna Grupo 2.....	64
Tabla 23 Disponibilidad del motor de Combustión interna Grupo 2.....	66
Tabla 24 Matriz AMFE del Motor de Combustión Interna Grupo 2.....	71

Tabla 25 Factores de Criticidad Motor de Combustión Interna Grupo 2	77
Tabla 26 Criticidad Motor de Combustión Interna Grupo 2.....	78
Tabla 27 Datos estadísticos del Motor de Combustión Interna Grupo 2.....	80
Tabla 28. Datos calculados del Motor de Combustión Interna Grupo 2.....	81
Tabla 29 Parámetros iniciales del Motor de Combustión Interna Grupo 2.....	83
Tabla 30 Fiabilidad e Infiabilidad del Motor de Combustión Interna Weibull Grupo 2.....	84
Tabla 31 Parámetros del método gráfico de Weibull Generador Grupo 2.....	86
Tabla 32 Parámetros de falla del motor de Combustión Interna grupo 2	87
Tabla 33 Ficha técnica del generador sincrónico de corriente alterna grupo 1.....	89
Tabla 34 Disponibilidad del Generador Grupo 1	91
Tabla 35 Matriz AMFE del Generador Grupo 1	95
Tabla 36 Parámetros de Criticidad Generador Grupo 1	103
Tabla 37 Cálculo de Criticidad Generador Grupo 1	104
Tabla 38 Datos estadísticos del Generador Grupo 1	106
Tabla 39 Datos calculados del generador del Grupo 1	107
Tabla 40 Parámetros iniciales del Generador Grupo 1	109
Tabla 41 Fiabilidad e Infiabilidad del Generador Grupo 1	110
Tabla 42 Datos del Generador Grupo 1	113
Tabla 43 Parámetros de falla del Generador grupo 1.....	113
Tabla 44 Parámetros de método gráfico Weibull generador 1.....	114
Tabla 45 Ficha técnica del generador sincrónico de corriente alterna grupo 2.....	116
Tabla 46 Disponibilidad del Generador Grupo 2.....	118
Tabla 47 Matriz AMFE del generador Grupo 2.....	123
Tabla 48 Parámetros de Criticidad Generador Grupo 2.....	130
Tabla 49 Parámetros de Criticidad Generador Grupo 2.....	131

Tabla 50 Modelo matemático Weibull del Generador Grupo 2.....	133
Tabla 51 Datos calculados del Generador Grupo 2	134
Tabla 52 Parámetros iniciales del Generador Grupo 2	135
Tabla 53 Fiabilidad e Infiabilidad del Generador Grupo 2	136
Tabla 54 Datos método gráfico Weibull Generador Grupo 2	139
Tabla 55 Parámetros de falla del Generador grupo 2.....	139
Tabla 56 Confiabilidad del Generador Grupo 2.....	140
Tabla 57 Promedios Estadísticos del Motor Grupo 1	142
Tabla 58 Tabla cruzada Criticidad * IPR Motor grupo 1.....	143
Tabla 59 Pruebas Chi-cuadrado Motor Grupo 1	143
Tabla 60 Promedios Estadísticos del Motor Grupo 2	144
Tabla 61 Tabla cruzada Criticidad * IPR Motor Grupo 2.....	145
Tabla 62 Pruebas Chi-cuadrado Motor Grupo 2	145
Tabla 63 Promedios Estadísticos del Generador Grupo 1	146
Tabla 64 Tabla cruzada Criticidad * IPR Generador Grupo 1.....	147
Tabla 65 Pruebas Chi-cuadrado Generador Grupo 1	147
Tabla 66 Promedios Estadísticos del Generador Grupo 2	148
Tabla 67 Tabla cruzada Criticidad * IPR Generador Grupo 2.....	149
Tabla 68 Pruebas de chi-cuadrado Generador Grupo 2	149
Tabla 69 Lista de repuestos de los motores Alco [19].....	150

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Sistemas de Mantenimiento [6]	5
Figura 2	Ciclo gráfico del Mantenimiento Correctivo [6]	6
Figura 3	Ciclo gráfico del Mantenimiento Programado [6].....	7
Figura 4	Ciclo gráfico básico del Mantenimiento Preventivo [6].....	7
Figura 5	Ciclo gráfico del Mantenimiento Predictivo [6].....	8
Figura 6	Fiabilidad y Mantenibilidad [5].....	11
Figura 7	Disponibilidad [5].....	11
Figura 8	Análisis de fallo [15]	15
Figura 9	Esquema del motor 251F ALCO 12V [16].....	17
Figura 10	Vista transversal del motor [16]	18
Figura 11	Modelo tradicional del motor 251F [16]	20
Figura 15	Papel Weibull Motor Grupo 1	60

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.....	9
Ecuación 2.....	9
Ecuación 3.....	9
Ecuación 4.....	9
Ecuación 5.....	12
Ecuación 6.....	34
Ecuación 7.....	34
Ecuación 8.....	34
Ecuación 9.....	35
Ecuación 10.....	35
Ecuación 11.....	35
Ecuación 12.....	53
Ecuación 13.....	54
Ecuación 14.....	54
Ecuación 15.....	55
Ecuación 16.....	55
Ecuación 17.....	55
Ecuación 18.....	56
Ecuación 19.....	58

RESUMEN

La generación de energía mediante motores alimentados por un combustible, de este tipo de centrales por lo general se denomina grupo a los componentes que lo integran como es el motor y el alternador.

El presente trabajo experimental, se desarrolló mediante una investigación de los motores de combustión interna y generadores sincrónicos de corriente alterna, con el objetivo de analizar la disponibilidad de las máquinas mediante análisis de fallos y modos de fallos (AMFE) en los principales componentes, tomando el método matemático y modelo gráfico de Weibull como uno de los parámetros principales en donde se analiza la fiabilidad de los componentes utilizando la Nota Técnica NTP 331, en el análisis de criticidad se determinó los elementos más críticos utilizando la Nota Técnica NTP 679, los mismos datos que sirvieron para realizar un modelo estadístico con pruebas que aceptan o rechazan la hipótesis, y mediante investigaciones, proformas se determinó algunos costos de adquisición en componentes del motor.

Mediante los análisis realizados se determina que los motores se encuentran en una etapa III de fallos crecientes, demostrando que los fallos y modos de fallos inciden en la disponibilidad de los generadores térmicos de la central Térmica Lligua perteneciente a la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.

PALABRAS CLAVES: AMFE, WEIBULL, modos de fallos, disponibilidad, motor, generador, térmico, fiabilidad.

ABSTRACT

In the generation of energy by means of engines fed by a fuel, in this type of plants, the components that make it up, such as the engine and the alternator, are generally called a group.

The present experimental work was developed through an investigation of internal combustion engines and synchronous alternating current generators, with the aim of analyzing the availability of the machines through failure analysis and failure modes (AMFE) in the main components, taking Weibull's mathematical method and graphic model as one of the main parameters where the reliability of the components is analyzed using Technical Note NTP 331, in the criticality analysis the most critical elements were determined using Technical Note NTP 679, the same data that served to carry out a statistical model with tests that accept or reject the hypothesis, and through investigations, proformas, some acquisition costs in engine components were determined.

Through the analyzes carried out, it is determined that the motors are in a stage III of increasing failures, demonstrating that the failures and failure modes affect the availability of the thermal generators of the Lligua Thermal Power Plant belonging to the Central North Regional Ambato Electric Company S.A.

Keywords: AMFE, WEIBULL, failure modes, availability, engine, generator, thermal, reliability.

CAPITULO I

MARCO TEORICO

1. Antecedentes Investigativos

Como guía para el presente trabajo de titulación se realizó una investigación en varios medios digitales, para buscar información en trabajos similares para encaminar al desarrollo del proyecto, teniendo los siguientes resultados.

Adrián Rodríguez Ramos y Orestes Llanes Santiago en su proyecto de investigación “Diagnóstico de fallos en un generador de vapor BKZ-340-140-29M utilizando herramientas de lógica difusa” desarrollado en una central termoeléctrica, en donde se diseñó un sistema de diagnóstico de fallos utilizando la lógica difusa. [1]

Alexandra Catalina Merchán Ulloa en su trabajo de “Análisis modal de fallos y efectos (AMFE), en el proceso de producción de tableros eléctricos de la empresa EC-BOX” realizada en la ciudad de Cuenca en el año 2015, indico que se aplicó la herramienta de calidad AMFE, en donde se levantó y analizo información del proceso, determinando modos, causas y efectos de fallos. [2]

Alex Omar Secaira López en su trabajo investigativo “Estudio del estado actual del equipo caminero del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Quero y su incidencia en la disponibilidad”, en donde realizo su trabajo con temas referentes a la fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad también el estudio de tiempos y el análisis de fallos AMFE, determinando los principales problemas o averías por el uso diario de los automotores. [3]

Macías Véliz María de los Ángeles en su proyecto titulado “Análisis de modo y efecto de falla del proceso de producción de la empresa Mecanizados Vallejo Vargas CÍA. LTDA. y su incidencia en la productividad”, con el estudio realizado se documentó la gestión que se realiza en la empresa con el fin de mejorar su productividad enfocada en la capacidad de trabajo, el bienestar de los empleados y mejoramiento continuo de la empresa. [4]

Cristian Omar Carrión Eras mediante su trabajo de investigación “Análisis del Estado actual de máquinas, equipos y sistemas y su influencia en la fiabilidad en la Florícola

La Rosaleda S.A. en la provincia de Cotopaxi”, en el análisis actual de máquinas, equipos y sistemas para mejorar la calidad de las flores, determino el tipo de mantenimiento que el equipo de trabajo necesita para conseguir la uniformidad del desempeño laboral, cumplir las exigencias y parámetros que demanda el mercado, obteniendo confiabilidad, seguridad, y disponibilidad total de las máquinas, equipos y sistemas para mejorar la obtención de productos de calidad. [5]

2. Objetivos

2.1.1. Objetivo General:

Realizar un análisis de fallos y modos de fallos de los generadores térmicos de la Central Térmica Lligua de la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A. y su incidencia en la disponibilidad.

2.1.2. Objetivos específicos:

➤ **Determinar la disponibilidad y mantenibilidad de los equipos.**

En este objetivo se planea establecer la disponibilidad y mantenibilidad de los equipos a estudiar mediante cálculos respectivos dando como resultado valores en la probabilidad de duración de reparación en mantenibilidad y en disponibilidad una probabilidad de desarrollar las funciones que se requieran.

➤ **Realizar un análisis de criticidad de los componentes de los generadores de energía.**

En este objetivo se proyecta realizar un análisis de criticidad en donde se prioriza los componentes de los generadores, para saber hacia dónde se debe dirigir los recursos humanos y económicos.

➤ **Analizar los componentes sus fallos y modos de fallos mediante la curva de Davis.**

En este objetivo se planifica analizar los componentes mediante la curva de Davis donde se indicará la tasa de fallos frente al tiempo, además el parámetro β de los componentes dando un valor para seleccionar las tareas respectivas del mantenimiento. Análisis mediante una matriz AMFE.

➤ **Analizar los costos de mantenimiento de los componentes de los generadores.**

En este objetivo se planea analizar los costos del mantenimiento que llevaría a cargo los componentes de los generadores mediante proformas y catálogos en donde se investigara los valores que implica realizar un mantenimiento.

2.1.3. Justificación:

En un sistema cuando este presenta variantes, que no le permita funcionar según el propósito por el cual fue diseñado se menciona que ha ocurrido un fallo. Los fallos a lo largo pueden ocasionar pérdidas económicas, como daños en el personal y en el medio ambiente.

Estudios recientes dan a conocer que el 90% de los fallos en máquinas ocurren al funcionamiento anormal de los componentes internos, referente a esta línea de estudio el mantenimiento correctivo del equipo es una práctica muy costosa, ya que esta implica paradas no programadas y los daños provocados por las fallas de los equipos.

El presente proyecto tiene como finalidad elaborar el análisis de fallos y modos de fallos de los generadores térmicos de la Central Térmica Lligua perteneciente a la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A. para determinar la factibilidad de mantener el equipo en su preservación y disponibilidad del equipo, considerándolo como un sistema de vital importancia para la distribución de energía eléctrica.

La empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A., es una institución que provee de energía eléctrica y alumbrado público a las provincias de Tungurahua, Pastaza, Napo y Morona Santiago, en la cual se ha reflejado altos estándares técnicos, laborales y de servicio al cliente en su área de concesión, posicionándola como la empresa con mayor alcance a nivel nacional.

Al tratarse de una empresa que brinda servicios públicos en concordancia con el estado debe proporcionar sus servicios sin interrupciones, por lo tanto, es indispensable la disponibilidad de los generadores térmicos de la Central Térmica Lligua.

En este trabajo se desarrollará técnicas del análisis y modos de fallos con base en la información alcanzada mediante su comportamiento al funcionar. Se usará diferentes herramientas para el desarrollo de este trabajo como medios tecnológicos y físicos.

3. Fundamentación Teórica

3.1.1. Mantenimiento industrial

En la industria actual la competitividad es uno de los puntos estratégicos donde se asegura el correcto funcionamiento de los equipos que posea la empresa, obteniendo así una máxima disponibilidad, lo que para el mantenimiento ha sido un gran paso de evolución en las últimas décadas, con capacidades de predecir fallas y averías en las etapas iniciales, poder determinar los motivos del problema y hasta poder corregirlas. [6]

El mantenimiento es la acción de mantener en correcto estado de funcionamiento los equipos e instalaciones, además las condiciones funcionales repercuten directamente en la seguridad de las instalaciones, si no existe seguridad en sus instalaciones existirá riesgos laborales, tener un funcionamiento correcto y óptimo de los equipos y maquinaria ayudará a mejorar la producción de la empresa. [6]

El enfoque del mantenimiento ha surgido hace unas pocas décadas este ha tenido un gran desarrollo en su noción, metodología y aplicación. En la reparación de averías dadas en máquinas, equipos y vehículos, se ha convertido en un sistema complejo de gestión optimizada tanto de recursos técnicos como organizativos los mismos que corrigen, previenen y predicen los fallos, a su vez asegurar la disponibilidad, fiabilidad y utilización eficiente de las instalaciones, dentro de los criterios de seguridad, calidad y responsabilidad medio ambiental. [7]

3.1.2. Sistemas de Mantenimiento

Existen unas metodologías o estrategias generales que adoptan las empresas para administrar y ejecutar el Mantenimiento, las cuales pueden ser tan simples como el no hacer (Mantenimiento Correctivo) hasta las más modernas como el Mantenimiento Basado en el Riesgo MBR. [8]



Figura 1 Sistemas de Mantenimiento [8]

Mantenimiento Correctivo o a la falla o de emergencia CM

Un sistema de mantenimiento correctivo es aquel que interviene cuando en el equipo o máquina ocasiono una falla funcional o en la que es posible detectar una avería mayor es decir falla potencial, este mantenimiento correctivo se divide en:

- Correctivo de emergencia
- Correctivo programado

El Correctivo de emergencia es aquel que se produce cuando una falla funcional de la máquina o equipo ocurre de manera inesperada en el funcionamiento de las mismas, y generalmente detiene el proceso. Puede generar pérdidas de producción, accidentes laborales, incumplimientos a los clientes, problemas de calidad, daños ambientales. [8]

El Correctivo programado se da cuando se puede notar una falla potencial, pero su efecto no es exagerado y permite terminar la jornada o el proceso, para poder realizar las correcciones que sean necesarias. [8]

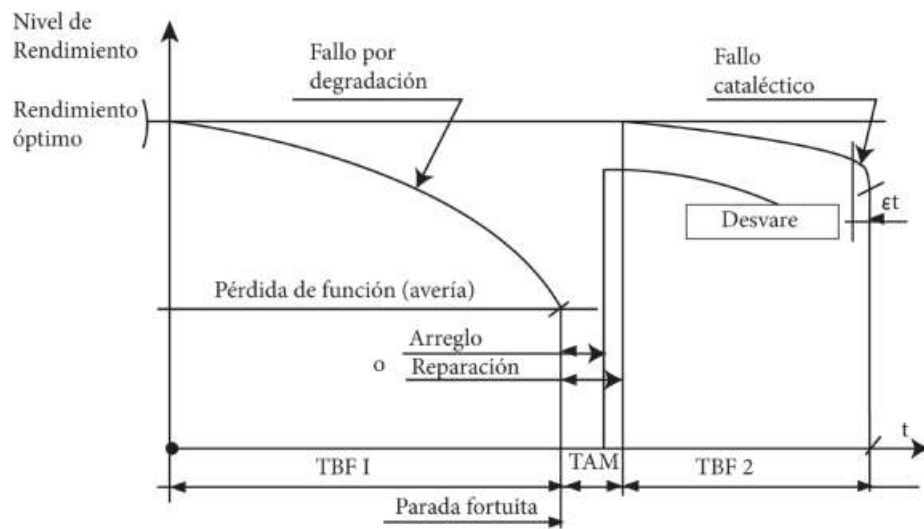


Figura 2 Ciclo gráfico del Mantenimiento Correctivo [8]

Se debe evitar en su mayoría realizar mantenimientos correctivos de emergencia en las máquinas y equipos indispensables en los procesos.

Realizar mantenimientos en una empresa siempre será necesario, del total de los mantenimientos un porcentaje debe ser de Mantenimiento Correctivo programado, debido al desgaste y deterioro de los diferentes componentes de las máquinas y equipos. [8]

Mantenimiento Programado

Es aquel que se realiza dependiendo del proceso que cada equipo o máquina realiza durante un tiempo determinado, procediendo a realizar las actividades correspondientes como de limpieza, lubricación, desarme, cambio de partes de recambio y posterior rearme; generalmente el lapso de tiempo es el recomendado por el fabricante del equipo, desconociendo la cantidad y tiempo real que se puede emplear en el de trabajo que se haya efectuado el equipo.

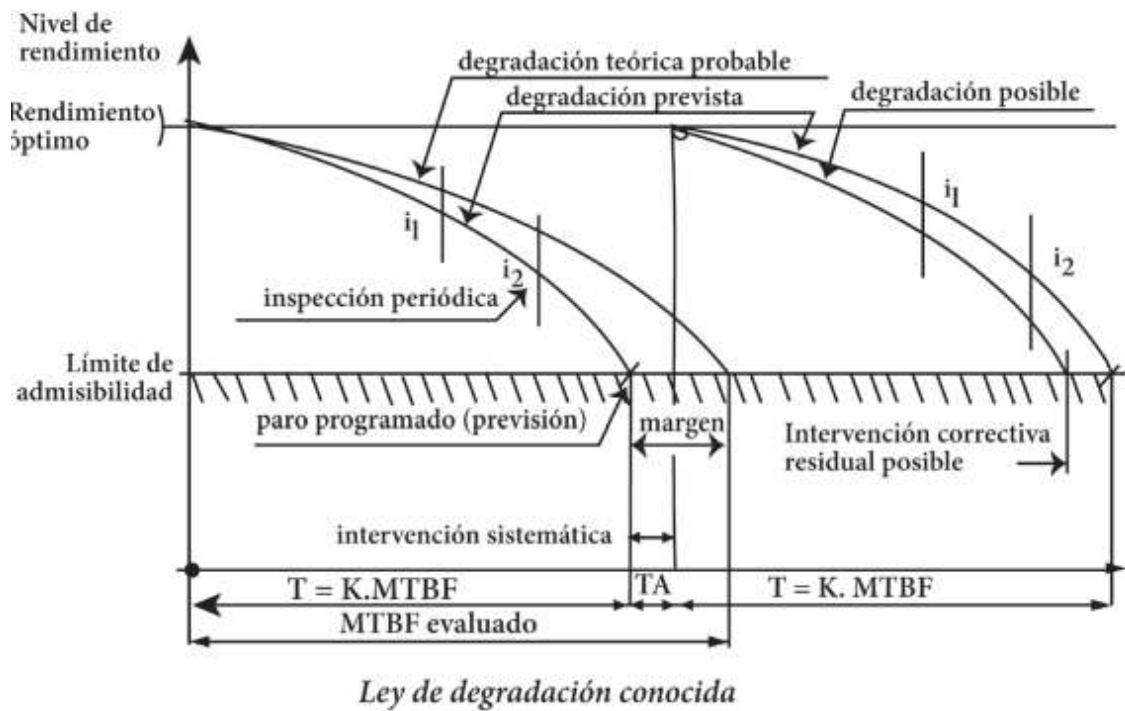


Figura 3 Ciclo gráfico del Mantenimiento Programado [8]

Mantenimiento Preventivo PM

Es un sistema de mantenimiento cuyo objetivo principal es prevenir la ocurrencia de fallas en un sistema productivo, con base en la realización de las tareas básicas que es observar, inspeccionar, calibrar, ajustar, cambiar, lubricar, reparar, etc., a unas frecuencias predeterminadas, asociadas a cada ciclo productivo en particular. La ejecución de las tareas básicas puede indicar la necesidad de realizar tareas programadas adicionales. [8]

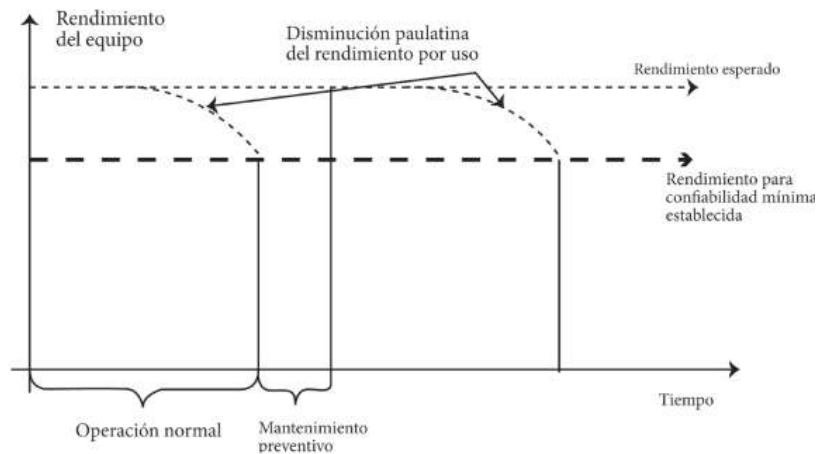


Figura 4 Ciclo gráfico básico del Mantenimiento Preventivo [8]

Mantenimiento Predictivo

Su principal fundamento es estudiar los síntomas de falla y predecir la ocurrencia de la falla de una máquina, midiendo y analizando los cambios en las variables de operación de la misma. El Mantenimiento Predictivo es una fase superior a la del Preventivo, y se efectúan por un lado ensayos o pruebas sobre partes de las máquinas, y complementariamente se hacen mediciones de variables de operación. [8]

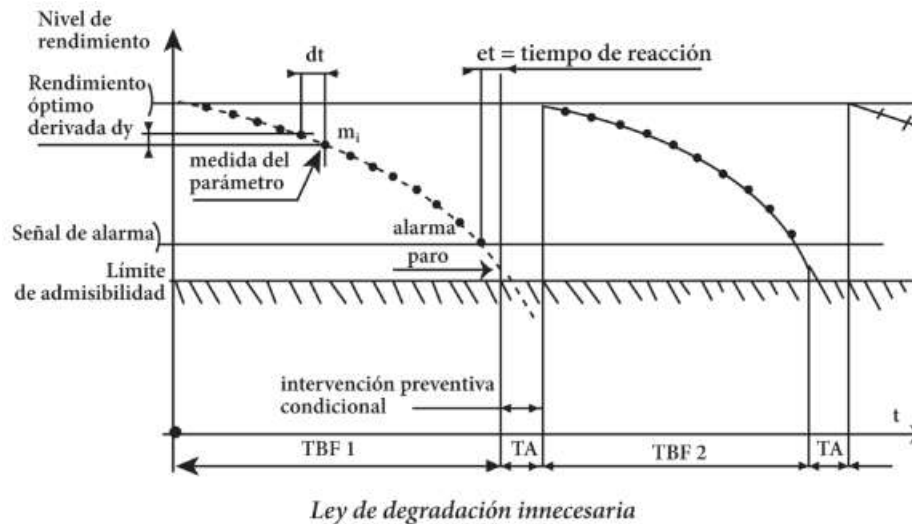


Figura 5 Ciclo gráfico del Mantenimiento Predictivo [8]

Las palabras confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad, son parte de los frecuentes procesos del mantenimiento. Si tomamos en cuenta la definición moderna de mantenimiento, se verifica que la misión de este es garantizar la disponibilidad de la función de los equipos e instalaciones, de tal modo que permita atender a un proceso de producción o de servicio con calidad, confiabilidad, seguridad, preservación del medio ambiente y costo adecuado. [9]

3.1.3. Disponibilidad

La disponibilidad, es el objetivo esencial del mantenimiento, puede ser definida como la confianza de que un componente o sistema que sufrió mantenimiento, ejerza su función correctamente en un tiempo dado. En la práctica, la disponibilidad se expresa como el porcentaje de tiempo en que el sistema está listo para operar o producir, esto en sistemas que operan continuamente. [10]

En la fase de diseño de equipos o sistemas, se debe buscar el equilibrio entre la disponibilidad y el costo. Dependiendo de la naturaleza de requisitos del sistema, el diseñador puede alterar los niveles de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad, de forma a disminuir el costo total del ciclo de vida. [10]

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Horas totales} - \text{Horas parada por mantenimiento}}{\text{Horas totales}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Los parámetros que se calculan para determinar la disponibilidad.

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

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

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

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

Donde:

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 periodo de tiempo.)

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

To: Tiempo de operación en horas. (Según el uso de la maquina o equipo)

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)

3.1.4. Mantenibilidad

La mantenibilidad es la probabilidad de devolver un equipo o componente a sus condiciones operativas en un determinado periodo de tiempo, o, dicho de otra forma, es la capacidad para recuperar el servicio en el momento que se realiza la tarea de mantenimiento. [11]

El estado de fallo de un equipo se establece por el tiempo en que duren las tareas de mantenimiento para recuperar la funcionalidad del mismo. [11]

El análisis de criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional, basado en la realidad actual. [12]

El mejoramiento de la confiabilidad operacional de cualquier instalación o de sus sistemas y componentes. Los criterios para realizar un análisis de criticidad están asociados con: seguridad, ambiente, producción, costos de operación y mantenimiento, tasa de fallos y tiempo de reparación principalmente. Estos criterios se relacionan con una ecuación matemática, que genera puntuación para cada elemento evaluado. [12]

Los generadores de energía son básicamente pequeñas centrales eléctricas. Permiten a sus propietarios generar electricidad, como sustituto o complemento de la electricidad de la red eléctrica. [13]

El motor de un generador necesita combustible para funcionar. El diésel, el gas natural, el propano, la gasolina y los biocombustibles son opciones comunes. La combustión del combustible se utiliza para crear un movimiento de rotación en un cigüeñal. [13]

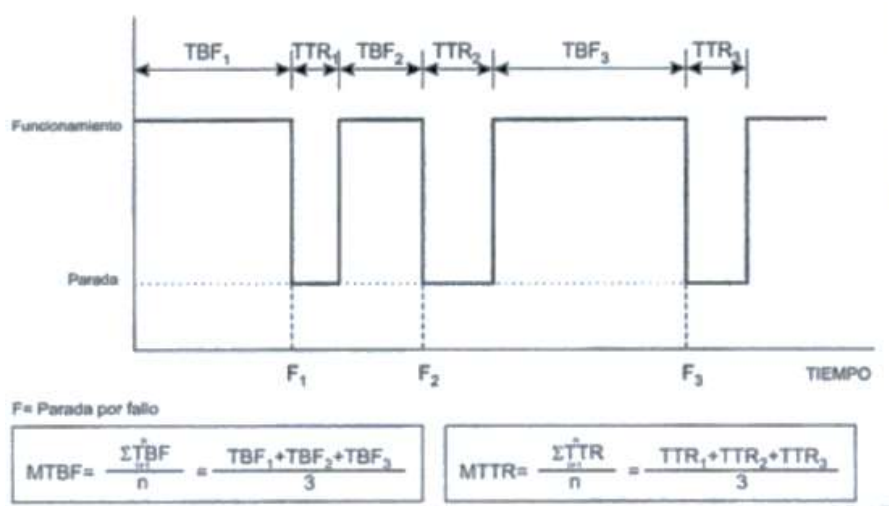


Figura 6 Fiabilidad y Mantenibilidad [7]

La disponibilidad es la probabilidad, en el tiempo, de asegurar un servicio requerido. Hay autores que definen la disponibilidad como el porcentaje de equipos o sistemas útiles en un determinado momento, frente al parque total de equipos o sistemas. [7]

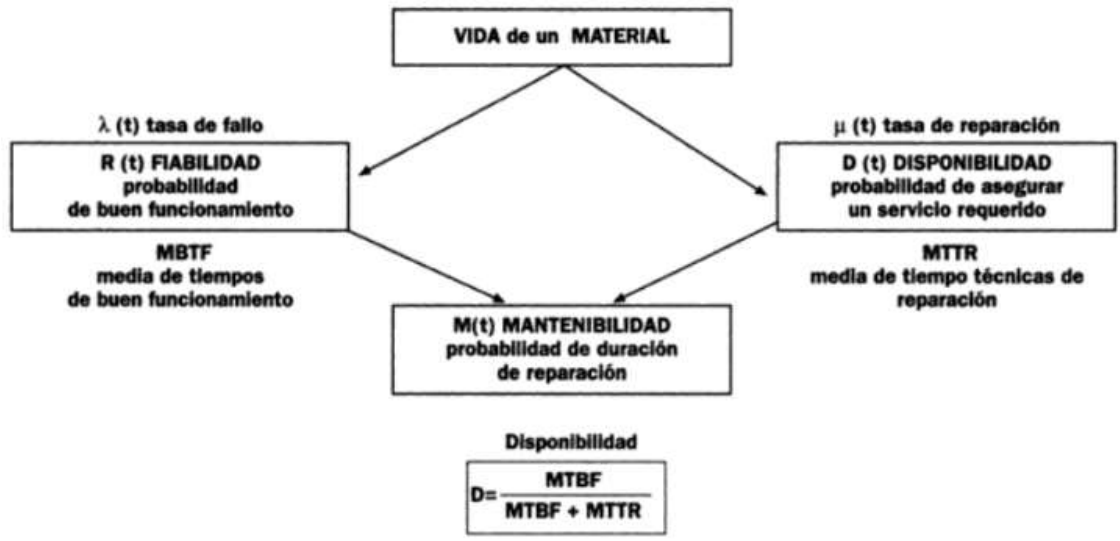


Figura 7 Disponibilidad [7]

3.1.5. Fiabilidad

La fiabilidad se define como la probabilidad, durante un periodo de tiempo específico, de que el equipo en cuestión pueda realizar su función o su actividad en las condiciones de utilización, o sin avería. [7]

3.1.6. Efectuar un Análisis de criticidad CA

Un análisis de criticidad permite identificar las áreas y secciones o grupos más críticas de planta. [7]

Una vez definidas estas, el CA permite definir las máquinas/equipos más críticos dentro de dichas áreas o secciones. Las máquinas/equipos serán llamados sistemas.

La Gravedad G debe ser definida por equipos de trabajo multidisciplinarios (producción, mantenimiento, control de calidad, salud ocupacional, seguridad industrial, división financiera, etc.). Hasta donde sea posible es pertinente conocer el patrón de falla de la máquina/equipo y su Frecuencia de falla F, que idealmente debe definirse con base a estadísticas de falla. Una guía muy seria para la selección de los valores de G y F. [7]

$$CA= G \times F$$

Ecuación 5

Donde:

CA es el valor del análisis de criticidad,

G es la gravedad de la ocurrencia de una falla en una área o sección.

F es la frecuencia de ocurrencia de la falla.

Tabla 1 Puntuación de la criticidad [7]

Clasificación	Efecto	Comentario
1	Ninguno	No hay razón para esperar que una falla tenga efecto alguno sobre la seguridad, la salud, el medio ambiente o la misión.
2	Muy bajo	Interrupción menor a la función de las instalaciones. Reparación de la falla puede ser realizada durante el llamado del problema
3	Bajo	Interrupción menor a la función de las instalaciones. Reparación de la falla puede ser más larga que el llamado del problema, pero no retrasa la misión.
4	Bajo a moderado	Moderada interrupción a la función de las instalaciones. Alguna parte de la misión puede necesitar ser reprocesada o el proceso es atrasado.

5	Moderado	Moderada interrupción a la función de las instalaciones. 100% de la misión puede requerir ser reprocesada o el proceso es atrasado.
6	Moderado a alto	Moderada interrupción a la función de las instalaciones. Alguna parte de la misión se pierde. Significativa espera para restaurar la función.
7-8	Alto - Muy Alto	Elevada interrupción a la función de las instalaciones. Alguna parte de la misión se pierde. Significativa espera para restaurar la función.
9 - 10	Peligroso	Potencial problema de seguridad, salud o ambiental. Fallas pueden ocurrir con advertencia.

3.1.7. Falla

Toda condición que afecta la operación normal de una máquina/equipo.

3.1.8. Falla funcional.

Tipo de falla que impide que una máquina/equipo continúe en operación (ocurre avería mayor).

3.1.9. Falla potencial.

Tipo de falla que no inhabilita a la máquina/equipo para que opere, pero en determinado momento propicia las condiciones para que ocurra una parada.

3.2. AMFE

El principal interés del AMFE es el de resaltar los puntos críticos con el fin de eliminarlos o establecer un sistema preventivo (medidas correctivas) para evitar su aparición o minimizar sus consecuencias, con lo que se puede convertir en un riguroso procedimiento de detección de defectos potenciales, si se aplica de manera sistemática. [14]

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. [14]

El AMFE se emplea para la búsqueda y evaluación de escenarios que puedan representar un impacto adverso para la planta de proceso, identificando los escenarios de mayor riesgo y emitiendo acciones tendientes a minimizar los mismos. [15]

Las técnicas de análisis de riesgo son empleadas en la búsqueda y evaluación de escenarios que pueden representar un impacto adverso para una instalación o planta de proceso, identificando los escenarios de mayor riesgo y emitiendo acciones de recomendación tendientes a minimizar el mismo. [16]

Dentro de las mencionadas metodologías de identificación de peligros, el Análisis de Modos de Falla y Efectos, AMFE (FMEA, por sus siglas en inglés), en combinación con una calificación o jerarquización del grado de criticidad del riesgo, es normalmente empleada para la planeación del mantenimiento centrado en confiabilidad, ya que nos permite lograr un entendimiento global del sistema, así como del funcionamiento y la forma en la que pueden presentarse las fallas de los equipos que componen este sistema. [16]

Cada falla que se puede presentar en una planta de proceso, representa un riesgo potencial, por lo cual es esencial entender cómo se presenta, entendiendo la forma en que los equipos fallan, podremos diseñar mejores acciones correctivas o preventivas. En este caso, las acciones son tareas de mantenimiento. [16]

Es esta última condición, es la que más nos interesa estudiar y la denominamos “falla funcional”, así, una falla será aquella que evita que un activo desempeñe su función conforme a un estándar de desempeño definido. [16]

Los efectos de la falla son considerados como la forma en la que la falla se manifiesta, es decir, como se ve perturbado el sistema ante la falla del equipo o activo, ya sea local o en otra parte del sistema, estas manifestaciones pueden ser: aumento / disminución de nivel, mayor / menor temperatura, activación de señales, alarmas o dispositivos de seguridad, entre otras; similarmente, se considera también la sintomatología de la falla, ruido, aumento de vibración, etc. [16]

3.2.1. Análisis de fallos y modos de fallo.

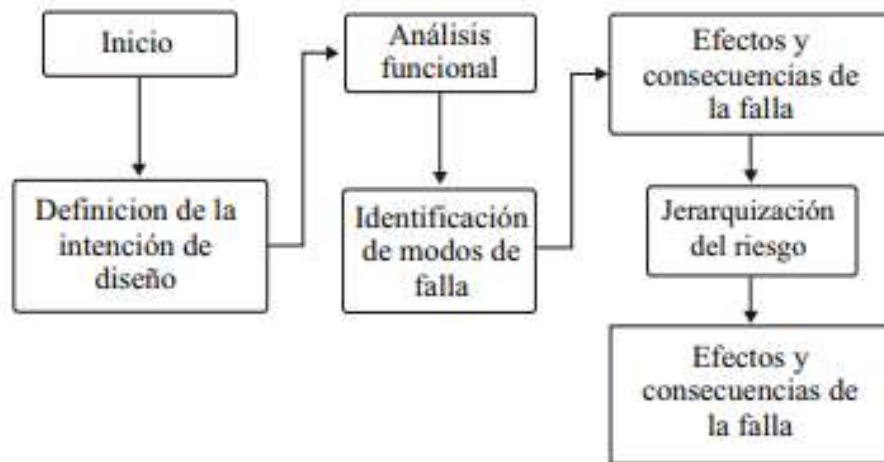


Figura 8 Análisis de fallo [17]

❖ Definición de la intención de diseño

Esta definición, consiste en conocer y entender la filosofía de operación de la planta o proceso, a fin de poder identificar claramente las condiciones bajo las cuales se opera, considerando tanto su diseño como las necesidades del usuario. El desarrollo de esta actividad nos permite saber la forma en que se operan los activos, siendo este el nivel de detalle requerido en la descripción. [17]

Para el análisis de modos de falla y sus efectos, AMFE (FMEA), la definición de la intención de diseño del sistema o equipo en análisis es altamente recomendable, ya que para poder entender como falla un activo, primero es necesario conocer cómo opera. [17]

❖ Análisis funcional

El análisis funcional es necesario para poder entrar al proceso de evaluación de los modos de falla, ya que se requiere conocer e identificar cuáles son aquellas funciones que el usuario espera o desea que su activo desempeñe. Se requiere identificar tanto la función principal y como las secundarias. [17]

❖ Identificación de Modos de falla

Un modo de falla podemos definirlo como la forma en la que un activo pierde la capacidad de desempeñar su función, o, en otras palabras, la forma en que un activo falla. A cada modo de falla le corresponde una acción de mitigación o prevención, dentro del proceso de Administración del Riesgo estas acciones pueden ser orientadas a desviaciones del proceso, factores humanos, etc. [17]

❖ **Efectos y consecuencias de la falla**

Los efectos de la falla son considerados como la forma en la que la falla se manifiesta, es decir, como se ve perturbado el sistema ante la falla del equipo o activo, ya sea local o en otra parte del sistema, estas manifestaciones pueden ser: aumento / disminución de nivel, mayor / menor temperatura, activación de señales, alarmas o dispositivos de seguridad, entre otras; similarmente, se considera también la sintomatología de la falla, ruido, aumento de vibración, etc. [17]

❖ **Jerarquización del riesgo**

El proceso de jerarquización del riesgo de los diferentes modos de falla, resultante de la combinación de la frecuencia de ocurrencia por sus consecuencias, nos permite identificar las mejores áreas de oportunidad para las acciones de recomendación, tanto en la etapa de evaluación como en la aplicación de los recursos económicos y humanos. [17]

4. Motor ALCO de 18 cilindros en V

La FM / ALCO 251 F del motor es universalmente reconocido por su gran fiabilidad, alto rendimiento específico, y bajo consumo específico de combustible. Este robusto motor de 4 tiempos está disponible en 6 -, 8 -, 12 -, 16 -, y las configuraciones de 18 cilindros y proporciona 500 a 2810 kW de potencia. Todas las versiones disponen de coincidencia excepcional de componentes con 229 mm (9 pulgadas) diámetro y 267 mm (10,5 pulgadas) del pistón utilizada en tiempos, el cigüeñal de aluminio forjado, con rodamientos nitrurados, contrapesos soldados, el bloque de cilindro de acero. La última versión del motor FM / ALCO 251 incorpora mejoras en el rendimiento conocido como el Paquete Plus. El "Plus" de configuración ha sido diseñado utilizando años de experiencia en el terreno con la intención de reducir el consumo de combustible y mejorar la fiabilidad y durabilidad. [18]

4.1.1. Características de los motores ALCO de 18 cilindros en V.

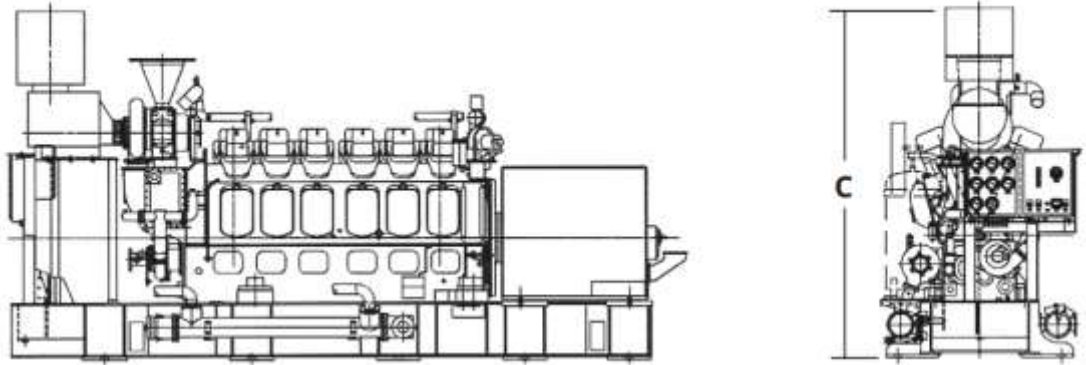


Figura 9 Esquema del motor 251F ALCO 12V [18]

Tabla 2 Dimensiones del motor [18]

Nº Cilindros	Longitud (mm)	Alto (mm)	Ancho (mm)	Peso (ton)
6 V	6,743	3,486	2,692	26
8 V	6,543	3,486	2,692	24
12 V	8,573	3,486	2,692	28
16 V	9,712	3,486	2,692	38
18 V	10,465	3,486	2,692	43

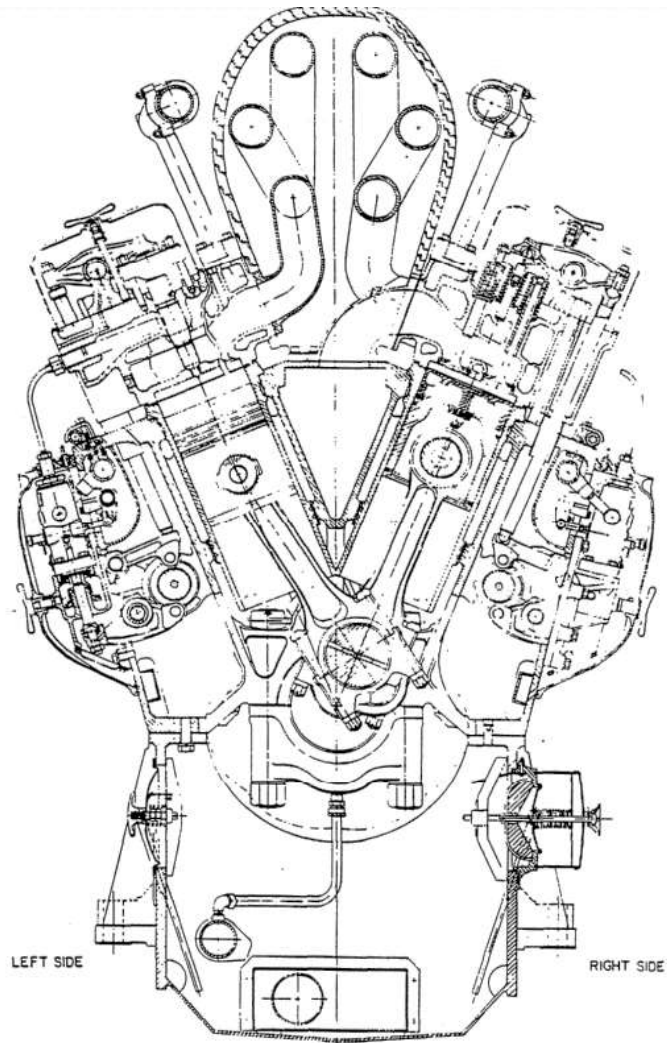


Figura 10 Vista transversal del motor [18]

Tabla 3 Características del motor 18 V [18]

Diámetro del cilindro – mm (pulg)	229 (9.0)
Carrera del pistón - mm (pulg)	267 (10.5)
Ciclo	4 carrera
Desplazamiento / Cilindro - L (pulgadas cúbicas)	10.9 (668)
Aspiración	Turboalimentado
Velocidad media del pistón - m / s (ft / s)	6.7 - 10.6 (21.8 - 35.0)
Continuo	12.7 - 17.9 (185 - 260)
Standby	14.4 - 19.4 (210 - 282)

Las clasificaciones se basan en:

- 90 grados F (32,2 ° C) temperatura ambiente.
- 28.25 en Hg. (71,6 cm de Hg) de presión barométrica (min)
- 1500 pies (457 m) de altitud (max)

Calificaciones crediticias de espera. Las calificaciones se basan en kW generadores con eficiencias nominales de 95,5%.

4.1.2. Campos de aplicación y utilidad de los motores de 18 cilindros en V marca ALCO

Los campos de aplicación de los motores ALCO de 18 cilindros en V en el campo industrial son los siguientes:

- Generación eléctrica
- Energía Marina
- Energía Naval.
- Energía Comercial.
- Energía Nuclear. - Energía en Locomotoras.

Generación eléctrica. El grupo electrógeno Alco 18 V Generador de Fairbanks Morse Engine son eficientes en consumo de combustible y ejecución limpia con bajas emisiones, proporcionando toda la fuerza necesaria para cumplir con los requisitos de carga máxima y el funcionamiento eficiente de lo que necesita para ahorrar dinero, generando de acuerdo a los requerimientos de los clientes. [18]

4.1.3. Principio de funcionamiento

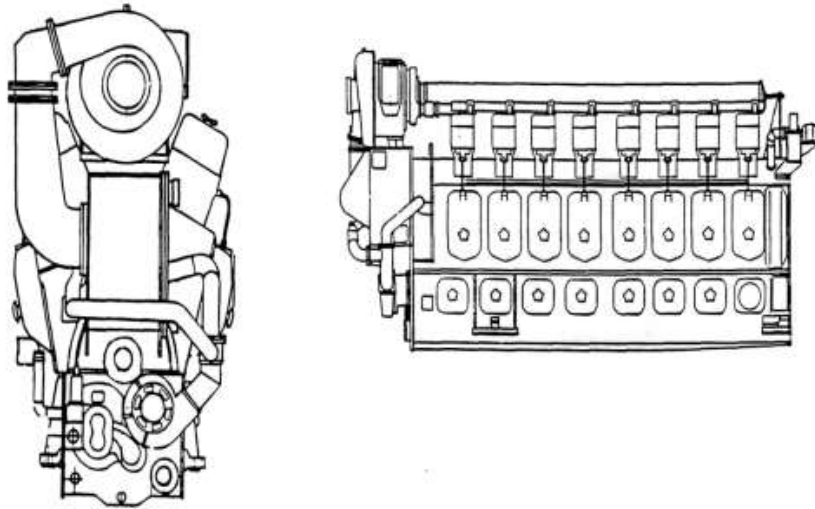


Figura 11 Modelo tradicional del motor 251F [18]

Los V-8, 12, 16 y 18 cilindros, los motores turbo sobrealimentado son del tipo de ciclo de cuatro tiempos, diseñado con cámaras de combustión abierta y un sistema de inyección de combustible sólido. Los motores se rigen por un gobernador electrohidráulico. [18]

Cada cilindro requiere dos revoluciones del motor de cuatro carreras del pistón para completar un ciclo de trabajo. El ciclo de trabajo completo de un pistón es el siguiente: Se sopla aire en el cilindro en la carrera hacia abajo o de admisión, a continuación, en la carrera de compresión este aire es comprimido por el pistón con un gran aumento de la temperatura del aire. Justo antes del final de la carrera de compresión, el combustible se inyecta en el cilindro donde se enciende por el calor del aire comprimido. La combustión resultante aumenta la presión del cilindro y en el tercer golpe o potencia, esta presión de gas obliga ir al pistón hacia abajo. En la carrera de cuarto o de escape, los gases quemados son expulsados por el pistón que se dirige hacia arriba, y por la acción de compactación del aire de admisión se hace posible un consumo abundante y la superposición de escape de la válvula. [18]

El motor tiene una estructura de acero completamente soldado. Un equipo de bomba de desplazamiento positivo tipo proporciona lubricación a presión completa de todas las partes de trabajo. El agua de refrigeración se hace circular por un motor impulsado manejada por la bomba centrífuga. [18]

CAPITULO II

METODOLOGÍA

2.1 Materiales y recursos

En el presente trabajo de grado se utilizó diferentes investigaciones y recursos lo que detallaremos a continuación:

2.1.1. Recursos Humanos

Las personas que se involucran en el proyecto de grado, en este caso es la persona que va a realizar la investigación, y el tutor que es una guía en el desarrollo del proyecto de grado.

Nombre: Patricia Estefanía Roldan Toapanta

Estudiante-Investigador

Carrera de Mecánica – Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica – Universidad Técnica de Ambato

Tutor: Ing. Mg. Christian Castro.

Docente - Tutor

Carrera de Mecánica – Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica – Universidad Técnica de Ambato

Tutor empresarial: Ing. Jorge Pérez

Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.

2.1.2. Recursos Materiales

Los medios físicos que se utilizarán para realizar el proyecto experimental y el análisis de datos, de la investigación:

- ❖ Computador
- ❖ Internet
- ❖ Bibliotecas virtuales y físicas
- ❖ Normas

❖ Manuales

❖ Programas

2.1.3. Recursos Económicos

En la elaboración del presente trabajo se necesita los siguientes recursos económicos, que están detallados a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 4 Costos referentes al proyecto

Descripción	Valor
Internet	\$ 150
Materiales de oficina	\$ 100
Computador portátil	\$ 750
Visitas a la empresa	\$ 100
Equipos de protección personal	\$ 150
Equipos de bioseguridad	\$ 50
Alimentación	\$ 100
Instrumentos de visualización	\$ 150
Imprevistos	\$ 100
Total	\$ 1570

2.2 Métodos

En el presente trabajo experimental se utiliza diferentes métodos de investigación, el más destacado es la investigación de campo ya que mediante esta investigación se logró recolectar los datos que fueron la base para el presente estudio.

Para realizar los diferentes estudios y cálculos se recolecto información y datos de cada una de las máquinas en especial de los dos motores Alco y los generadores sincrónicos de corriente alterna de los cuales se realizó una investigación.

2.2.1. Nivel o tipo de investigación

Investigación de campo

En esta parte de la investigación se hizo un levantamiento de información, mediante un estudio sistemático en la Central Térmica Lligua. En el cual se concluye que el problema fundamental es la falta de planes de mantenimientos de estas máquinas y su estado actual.

Investigación Exploratoria

No se encontraron con análisis previos, por lo que se estableció una hipótesis y la identificación de cada una de sus variables. Teniendo así una idea clara y definida del tema del proyecto, para dar un informe del análisis y la incidencia de la central.

Investigación Bibliográfica

Una investigación bibliográfica fue necesaria, para profundizar en el tema con conocimientos científicos acerca de los parámetros que se deben tomar en cuenta para un correcto análisis, con el acceso a internet, además de libros, revistas y artículos referentes al tema.

2.3. Hipótesis

Hipótesis Nula

Los fallos y modos de fallos no afectan a los generadores térmicos y su incidencia en la disponibilidad.

Hipótesis Alternativa

Los fallos y modos de fallos afectan a los generadores térmicos y su incidencia en la disponibilidad.

Operacionalización de variables

❖ Variable independiente: Análisis de fallos y modos de fallos de los generadores térmicos.

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumentos
<p>El análisis de modos de fallas y efectos es un método utilizado para prevenir fallas y analizar los riesgos de un proceso mediante la identificación de causas y efectos a fin de determinar las acciones que se utilizaran para inhibir las fallas.</p> <p>El modo de fallas está relacionado con el hecho de como un proceso puede ser llevado a operar de manera deficiente.</p>	Análisis de fallos	Análisis de criticidad de los componentes.	<ul style="list-style-type: none"> a) Método AMFE b) Fallos c) Curva de Davis 	<p>Observación Directa.</p> <p>Órdenes de trabajo.</p>

❖ **Variable dependiente:** Incidencia en la disponibilidad.

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumentos
<p>La disponibilidad, objetivo principal del mantenimiento, puede ser definida como la confianza de que un componente o sistema que sufrió mantenimiento, ejerza su función satisfactoriamente para el tiempo dado. Esta depende de cuán frecuente se producen los fallos en determinado tiempo y condiciones (fiabilidad) y de cuánto tiempo se requiere para corregir el fallo (mantenibilidad).</p>	<p>1 Fiabilidad</p> <p>2 Mantenibilidad</p>	<p>a) Tiempo promedio entre fallas (MTBF)</p> <p>a) Tiempo promedio para la reparación. (MTTR)</p>	<p>a) Número de fallas detectadas.</p> <p>a) Tiempo total de fallas.</p>	<p>Observación Directa.</p> <p>Ordenes de trabajo.</p> <p>Observación Directa.</p> <p>Ordenes de trabajo.</p>

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 DATOS GENERALES DE LA EMPRESA

Central Térmica Lligua Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.

3.1.1 UBICACIÓN

La Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A, EEASA, es propietaria de la Central de Generación Térmica Lligua y Central Hidráulica La Península, la misma que está situada en la provincia de Tungurahua, cantón Ambato, parroquia La Península a 3 km. de la avenida Indoamericana en la vía Ambato – Salcedo.

3.1.2 CENTRAL TÉRMICA LLIGUA_ SITUACIÓN ACTUAL

La central térmica Lligua empieza su operación comercial desde el año 1976, cuenta con dos unidades electrógenas, con una potencia de generación nominal de 3400kW con los grupos No.1- No.2, potencia efectiva de la planta de 1.500 kW con la operación del grupo No. 2, disponible desde el 04 de enero 2014 hasta la fecha. El grupo No.1, se encuentra indisponible desde diciembre 2014 hasta la presente fecha no se ha tomado en consideración su habilitación por los altos costos de operación y hasta la fecha actual presenta un número total de 18.294 horas de operación. La capacidad máxima de almacenamiento del combustible en los tanques es de 35.000 galones. No dispone de un contrato de transporte de combustible, en vista que compra de combustible es directa a Petroecuador, su operación no es continua y solo es despachada cuando CENACE lo requiera.

Datos generales de la central térmica Lligua

Tabla No. 1 Datos generales

TIPO	COMBUSTIÓN INTERNA
POTENCIA NOMINAL	3400 kW GRUPO (No.1 – No.2)
POTENCIA DISPONIBLE	1500 kW GRUPO (No.1)
NÚMERO DE UNIDADES	No.1 – No.2
RENDIMIENTO	12 (kWh/Gln) GRUPO (No.1 – No.2)
COMBUSTIBLE	DIESEL
ALMACENAMIENTO DIESEL	2 TANQUES DE 30.000 GALONES
CONEXIÓN AL SNT	SUBESTACIÓN ORIENTE – EEASA


3.2 Inventario de máquinas


La Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A. es una empresa distribuidora del servicio de energía eléctrica y alumbrado público, con una cobertura más grande del país, incluye algunas provincias de Tungurahua, Pastaza, Napo y Morona Santiago.


La central Lligua ubicada en La Península empezó su funcionamiento en el año 1978 la central de combustión interna con 5000 kW de potencia nominal, la empresa posee diferentes máquinas y equipos que mediante su funcionamiento se permite cumplir el propósito de la empresa de brindar energía.


En la tabla 5 se elaboró un inventario de las máquinas que posee dentro de la central Lligua de la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.


Tabla 5 Inventario de máquinas

	EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S.A.				
	CENTRAL LLIGUA				
	INVENTARIO				
	ELABORADO POR: Patricia Roldán		FECHA DE ELABORACIÓN: 25/11/2022		
	REVISADO POR: Ing. Christian Castro		FECHA DE REVISIÓN: 01/12/2022		
DESCRIPCIÓN	Marca	Modelo	Serie	Código	Observación
<i>BANCO DE BATERIAS 25 UND 12V</i>	-	-	-	EEASA-BB001	-
<i>CENTRIFUGA PARA PURIFICACIÓN DE COMBUSTIBLE</i>	ALFA LAVAL	MAB-1038-24-80/4208-1	-	EEASA-CC002	Grupo 1
<i>COMPRESOR DE AIRE</i>	WORTHINGTON	EY 1200	-	EEASA-CA003	Grupo 2
<i>COMPRESOR DE AIRE</i>	WORTHINGTON	EY 1194	-	EEASA-CA004	Grupo 1
<i>CONDUCTOR SUBTERRANEO PARA CONEXIÓN DE EQUIPO</i>	-	-	-	EEASA-CS005	Grupo 1 y 2

 EEASA Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.	EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S.A.				
	CENTRAL LLIGUA				
	INVENTARIO				
	ELABORADO POR: Patricia Roldán		FECHA DE ELABORACIÓN: 25/11/2022		
	REVISADO POR: Ing. Christian Castro		FECHA DE REVISIÓN: 01/12/2022		
DESCRIPCIÓN	Marca	Modelo	Serie	Código	Observación
<i>DISYUNTOR DE CORRIENTE</i>	WESTINGHOUSE	DHP PORCEL LINE	-	EEASA-DC006	Grupo 1
<i>DISYUNTOR DE CORRIENTE</i>	WESTINGHOUSE	DHP PORCEL LINE	-	EEASA-DC007	Grupo 2
<i>ELECTROBOMBA ENGRANAJES DE ACEITE PARA PRELUBRICACION</i>	SIEMENS	3 1LA2053-4AA90Z	99170108005	EEASA-EE008	Grupo 2
<i>ELECTROBOMBA ENGRANAJES DE ACEITE PARA PRELUBRICACION</i>	BALDOR	-	575	EEASA-EE009	Grupo 1
<i>EXCITATRIZ PARA CORRIENTE PARA GRUPO N 2</i>	BELOIT	-	-	EEASA-EC0010	Grupo 2
<i>EXCITATRIZ PARA CORRIENTE PARA GRUPO N 1</i>	BELOIT	-	-	EEASA-EC0011	Grupo 1
<i>PORTA FILTRO PARA ACEITE LUBRICANTA PARA GRUPO N 1</i>	MICHIANA FILTER	18319-301200 GLE	11-75-5	EEASA-PF0012	Grupo 1
<i>PORTA FILTRO PARA ACEITE LUBRICANTA PARA GRUPO N 2</i>	MICHIANA FILTER	18319-301200 GLE	11-75-7	EEASA-PF0013	Grupo 2
<i>PORTA FILTRO PARA COMBUSTIBLE (4 FILTROS)</i>	NUGENT	1555-1RH-DN	K 74	EEASA-PF0014	Grupo 1

 EEASA Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.	EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S.A.				
	CENTRAL LLIGUA				
	INVENTARIO				
	ELABORADO POR: Patricia Roldán		FECHA DE ELABORACIÓN: 25/11/2022		
	REVISADO POR: Ing. Christian Castro		FECHA DE REVISIÓN: 01/12/2022		
DESCRIPCIÓN	Marca	Modelo	Serie	Código	Observación
<i>POTA FILTRO PARA COMBUSTIBLE (4 FILTROS)</i>	NUGENT	1555-1RH-DN	K 74	EEASA-PF0015	Grupo 2
<i>GENERADOR SINCRONICO DE CORRIENTE ALTERNA</i>	BELOIT POWER	-	504449-R1	EEASA-GS0016	Grupo 1
<i>GENERADOR SINCRONICO DE CORRIENTE ALTERNA</i>	BELOIT POWER	-	504298-R1	EEASA-GS0017	Grupo 2
<i>INTERCAMBIADOR DE CALOR PARA ENFRIAR LUBRICANTES</i>	NATIONAL BRD	-	848601-7	EEASA-IC0020	Grupo 1
<i>INTERCAMBIADOR DE CALOR PARA ENFRIAR LUBRICANTES</i>	NATIONAL BRD	-	848601-3	EEASA-IC0021	Grupo 2
<i>MEDIDORES DE ENERGIA PUNTOS DE CONEXIÓN S.N.I</i>	POWER MEASUREMENT	-	-	EEASA-ME0022	-
<i>MOTOR DE COMBUSTION INTERNA PARA GENERADOR 1</i>	ALCO	251F18GS	35405-16599	EEASA-MC0023	Grupo 1
<i>MOTOR DE COMBUSTION INTERNA PARA GENERADOR N 2.</i>	ALCO	251F18GS	35405-4-16601	EEASA-MC0024	Grupo 2
<i>PUENTE GRUA</i>	WRIGHT	-	-	EEASA-PG0025	-
<i>RADIADOR PARA ENFRIAMIENTO PARA GRUPO N 1</i>	AIR-X-CHANGER	108 AH	744494 B	EEASA-RE0026	Grupo 1

 EEASA Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.	EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S.A.				
	CENTRAL LLIGUA				
	INVENTARIO				
	ELABORADO POR: Patricia Roldán		FECHA DE ELABORACIÓN: 25/11/2022		
	REVISADO POR: Ing. Christian Castro		FECHA DE REVISIÓN: 01/12/2022		
DESCRIPCIÓN	Marca	Modelo	Serie	Código	Observación
<i>RADIADOR PARA ENFRIAMIENTO PARA GRUPO N 2</i>	AIR-X-CHANGER	108 AH	744494 C	EEASA-RE0027	Grupo 2
<i>REGULADOR DE VELOCIDAD</i>	WOODWARD	-	1368393	EEASA-RV0028	Grupo 2
<i>REGULADOR DE VELOCIDAD</i>	WOODWARD	-	1368395	EEASA-RV0029	Grupo 1
<i>TABLERO ELÉCTRICO PARA GENERACIÓN</i>	NACIONAL	-	-	EEASA-TG0030	--
<i>TANQUE EXPANSIÓN AGUA DE ENFRIAMIENTO</i>	-	-	-	EEASA-TE0031	Grupo 2
<i>TANQUE EXPANSIÓN AGUA DE ENFRIAMIENTO</i>	-	-	-	EEASA-TE0032	Grupo 1
<i>TANQUE PARA ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE N 1</i>	-	-	-	EEASA-TA0033	Grupo 1
<i>TANQUE PARA ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE N 2</i>	-	-	-	EEASA-TA0034	Grupo 2
<i>TANQUE PULMON PARA AIRE</i>	MANCHESTER	V3024	212225	EEASA-TP0035	Grupo 1
<i>TANQUE PULMON PARA AIRE</i>	MANCHESTER	V3024	212225	EEASA-TP0036	Grupo 2




 EEASA Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.	EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S.A.				
	CENTRAL LLIGUA				
	INVENTARIO				
	ELABORADO POR: Patricia Roldán		FECHA DE ELABORACIÓN: 25/11/2022		
	REVISADO POR: Ing. Christian Castro		FECHA DE REVISIÓN: 01/12/2022		
DESCRIPCIÓN	Marca	Modelo	Serie	Código	Observación
<i>TRANSFORMADOR DE INTENSIDAD</i>	BASLER ELECTRIC	BE-12110001	-	EEASA-TI0037	Grupo 1
<i>TRANSFORMADOR DE INTENSIDAD</i>	BASLER ELECTRIC	BE-12110001	-	EEASA-TI0038	Grupo 2
<i>TRANSFORMADOR DE POTENCIAL</i>	ABB	-	7525A52G01	EEASA-TO0039	Grupo 1 y 2; V 2400/4160
<i>TRANSFORMADOR DE POTENCIAL</i>	GENERAL ELECTRIC	JMV-3	6015563	EEASA-TO0040	Grupo 1 y 2; V 2400
<i>TRANSFORMADOR DE SERVICIOS</i>	WESTINGHOUSE	B46D28T45D	75D559/74M6161	EEASA-TS0041	Grupo 1 y 2
<i>TRANSFORMADOR DE TENSION</i>	BASLER ELECTRIC	F 95° C	-	EEASA-TT0042	Grupo 1 y 2
<i>TABLERO PARA CONECTAR MOTORES DE VENTILACIÓN DE RADIADORES</i>	GENERAL ELECTRIC	-	-	EEASA-TM0043	Grupo 1 y 2
<i>PANEL DE CONTROL DE MOTORES</i>	-	-	-	EEASA-PC0044	Grupo 1 y 2
<i>CENTRIFUGA PARA PURIFICACIÓN DE COMBUSTIBLE</i>	MACFUGE	-	64913	EEASA-CP0045	Grupo 2

3.3 Fichas Técnicas

A continuación, a partir de la tabla 4 se elabora fichas técnicas de las máquinas que se van a estudiar a profundidad como el motor de combustión interna del grupo 1 y 2.

3.4 Motor ALCO para generador 1

Tabla 6 Ficha técnica del motor de combustión interna para el generador 1

	Universidad Técnica de Ambato		
	Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica		
	Carrera de Mecánica		
Ficha de:	Máquina	X	Equipo
MOTOR DE COMBUSTION INTERNA PARA GENERADOR 1			
			
CÓDIGO		EEASA-MC0023	
Características Generales			
Marca:	ALCO	Combustible:	Diésel tipo 4
Modelo:	251F18GS	R.P.M DEL MOTOR:	900
Serie:	35405-16599	Procedencia:	Americana
Año:	1956	Dimensiones:	4800*2550*1400 mm
Componentes			
Bloque del motor		Culata	
Pistones		Árbol de levas	
Cigüeñal		Cilindros	
Cárter		Válvulas	
Función:	Es la parte de una máquina gracias a la cual funciona todo el sistema. Realiza un trabajo transformando energía, de combustible a energía eléctrica.		
Observaciones:	Motor de combustión, para generador N 1.		

Las principales características, condiciones de servicio, instrucciones de servicio y normas de seguridad de este motor son las que se describen a continuación:

Características del Equipo

- Motor Turbo Diésel
- Configuración de los pistones: En V
- Combustible: Diésel Tipo 4
- Sistema de refrigeración: Agua no recircular (Radiadores)
- Dimensiones: 4800*2550 mm

Condiciones de servicio

- Temperatura de trabajo: 100 °C
- Tipo de instalación: Horizontal
- Tiempo de funcionamiento: 8 horas
- N° de operarios requeridos: 1

Instrucciones de funcionamiento

- Inspección visual de los sistemas
- Verificar que la instalación eléctrica se encuentre en condiciones óptimas de funcionamiento.
- Verificar que la instalación neumática se encuentra en condiciones óptimas de funcionamiento.
- Verificar que la instalación hidráulica se encuentre en condiciones óptimas de funcionamiento.
- Verificar que el sistema de lubricación se encuentre en condiciones óptimas de funcionamiento.
- Verificar que el sistema de combustible se encuentre en condiciones óptimas de funcionamiento.
- Prelubricar el aceite del block.
- Cargar los tanques de aire
- Encendido del panel de control
- Etapa de calentamiento del turbo

Normas de seguridad

- El motor debe ser utilizado por personal calificado
- Verificar que no exista fugas antes del encendido del motor.
- Si existe fugas de combustible, apagar el motor.
- No manipular los componentes internos cuando el motor se encuentre encendido.
- Utilizar la ropa adecuada, zapatos dieléctricos, guantes, gafas.
- No utilizar cadenas, pulseras, anillos u cualquier otro objeto en el área de trabajo.

3.4. Parámetros

Mantenimiento anual estadístico

En la siguiente tabla se encuentran las actividades desarrolladas dentro del periodo de Agosto 2021 – Agosto 2022 de los motores ALCO y los generadores cada uno correspondientes al grupo 1 y 2, en los cálculos realizados no se tomó en cuenta ni los fines de semana, ni tampoco los feriados.

Se utilizó algunas fórmulas para calcular los parámetros necesarios, que se presentara a continuación: [19]

$$MTBF = \frac{To_1 + To_2 + To_n}{\Sigma_n} \quad \text{Ecuación 6}$$

En donde:

MTBF: Tiempo medio entre fallos sucesivos.

To: Tiempo de operación en horas (Dependiendo del uso de la máquina)

n: número de datos. [19]

$$MTTR = \frac{TR_1 + TR_2 + TR_n}{\Sigma_n} \quad \text{Ecuación 7}$$

En donde:

MTTR: Tiempo medio entre fallos de reparación.

TR: Tiempo de reparación en horas (Dependiendo del uso de la máquina)

n: número de datos. [19]

$$TP = TR + TM \quad \text{Ecuación 8}$$

En donde:

TP: Tiempo de paro en horas.

TR: Tiempo de reparación en horas

TM: Tiempo muerto. [19]

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

Ecuación 9

En donde:

λ : Tasa de fallos

MTBF: Tiempo medio entre fallos sucesivos. [19]

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

Ecuación 10

En donde:

μ : Tasa de reparación

MTTR: Tiempo medio de reparación [19]

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

Ecuación 11

En donde:


D: Disponibilidad


MTBF: Tiempo medio entre fallos sucesivos.


MTTR: Tiempo medio de reparación. [19]


3.4.1. Disponibilidad del Motor de Combustión Interna Grupo 1

Tabla 7 Disponibilidad del motor de combustión interna grupo 1.

EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S.A.							 EEASA Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.				
CENTRAL LLIGUA											
DISPONIBILIDAD											
Mes	Actividades	Fecha	TO (h)	TP (h)	TR (h)	TM (h)	$\frac{\Sigma TO}{n}$ TMBF	$\frac{\Sigma TR}{N}$ MTTR	$\lambda = \frac{1}{TMBF}$ λ	$\mu = \frac{1}{MTTR}$ μ	$D = \frac{\Sigma TMBF}{\Sigma TMBF + \Sigma MTTR}$ Disponibilidad
Agosto	Cambio de filtro de combustible	01/8/2021	7	6,5	6	0,5	13,5	6,5	0,074	0,154	67,5
	Reajuste de tapas internas del estator de grupo #1	07/8/2021	20	9,5	7	2,5					
Septiembre	Limpieza de la excitatriz, del generador, del volante, tanque de combustible y la parte baja del cárter se limpia con desengrasante.	13/9/2021	15	12	8	4	13,5	7,5	0,07	0,133	64,3
	Mantenimiento compresores y tanques	27/9/2021	12	9	7	2					
Octubre	Limpieza y cambio de filtros de aire.	08/10/2021	10	8	7	1	11	5,5	0,09	0,182	66,7
	Reajuste de abrazaderas de la cañería del filtro	22/10/2021	12	5	4	1					

EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S.A.										 EEASA Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.	
CENTRAL LLIGUA											
DISPONIBILIDAD											
Mes	Actividades	Fecha	TO (h)	TP (h)	TR (h)	TM (h)	$\frac{\Sigma TO}{n}$ TMBF	$\frac{\Sigma TR}{N}$ MTTR	$\lambda = \frac{1}{TMBF}$ λ	$\mu = \frac{1}{MTTR}$ μ	$D = \frac{\Sigma TMBF}{\Sigma TMBF + \Sigma MTTR}$ Disponibilidad
Noviembre	Desmontaje y montaje de la camisa L8 del grupo #2.	05/11/2021	15	19	16	3	18,5	12	0,05	0,083	60,7
	Calibrar las 18 válvulas del grupo #1.	29/11/2021	22	12	8	4					
Diciembre	Cambio de cabezote L8	02/12/2021	16	10	8	2	17	8	0,06	0,125	68
	Calibrar válvulas y corregir tubos de aceite y diésel.	21/12/2021	18	9	8	1					
Enero	Mantenimiento preventivo al turbo, revisión de empaquetadura, apriete de pernos y limpieza general.	06/1/2022	16	10	9	1	20	9,5	0,05	0,105	67,8
	Se realiza una limpieza íntegra con desengrasante de la Unidad #1 de la Central Lligua y la sala de máquinas.	09/1/2022	24	12	10	2					
Febrero	Limpieza de tubería de combustible de la Central Lligua.	03/2/2022	8	8	5	3	10	5,5	0,10	0,182	64,5

EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S.A.											
CENTRAL LLIGUA											
DISPONIBILIDAD											
Mes	Actividades	Fecha	TO (h)	TP (h)	TR (h)	TM (h)	$\frac{\Sigma TO}{n}$ TMBF	$\frac{\Sigma TR}{N}$ MTTR	$\lambda = \frac{1}{TMBF}$ λ	$\mu = \frac{1}{MTTR}$ μ	$D = \frac{\Sigma TMBF}{\Sigma TMBF + \Sigma MTTR}$ Disponibilidad
	Cambio de acople en la tubería de combustible de la Central Lligua.	22/2/2022	12	7,5	6	1,5					
Marzo	Revisión de todas las conexiones en la tubería.	02/3/2022	18	7,5	5	2,5	13	6,5	0,08	0,154	66,7
	Limpieza de inyectores y cañerías de distribución	26/3/2022	8	9	8	1					
Abril	Limpieza de filtro y ductos de aire y ventilación	05/4/2022	16	9	7	2	14	7,5	0,07	0,133	65,1
	Limpieza de filtro y ductos de refrigeración	19/4/2022	12	12	8	4					
Mayo	Limpieza y lavado con desengrasante de la unidad #1 de la central Lligua.	08/5/2022	19	7,5	5	2,5	15,5	7,5	0,06	0,133	67,4
	Desmontaje de tuberías del radiador #1 de la central Lligua y limpieza de bodegas de la central.	30/5/2022	12	11	10	1					

EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S.A.										 EEASA Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.	
CENTRAL LLIGUA											
DISPONIBILIDAD											
Mes	Actividades	Fecha	TO (h)	TP (h)	TR (h)	TM (h)	$\frac{\Sigma TO}{n}$ TMBF	$\frac{\Sigma TR}{N}$ MTTR	$\lambda = \frac{1}{TMBF}$ λ	$\mu = \frac{1}{MTTR}$ μ	$D = \frac{\Sigma TMBF}{\Sigma TMBF + \Sigma MTTR}$ Disponibilidad
Junio	Mantenimiento preventivo manómetros y termómetros	02/6/2022	16	8,5	7	1,5	15,5	7,5	0,06	0,133	67,4
	Cambio de empaquetadura de la tubería del aceite y cambio de manguera de combustible	27/6/2022	15	9	8	1					
Julio	Cambio de aceite unidad No1	05/7/2022	12	7	5	2	10	5,5	0,10	0,182	64,5
	Cambio de filtros de aceite	24/7/2022	8	8,5	6	2,5					
Agosto	Cambio de filtros de combustible	04/8/2022	8	5,5	4	1,5	10	5,5	0,10	0,182	64,5
	Limpieza de cañerías de combustible	29/8/2022	12	9	7	2					
Promedio											65,8

3.4.2. TO vs DISPONIBILIDAD MOTOR GRUPO 1

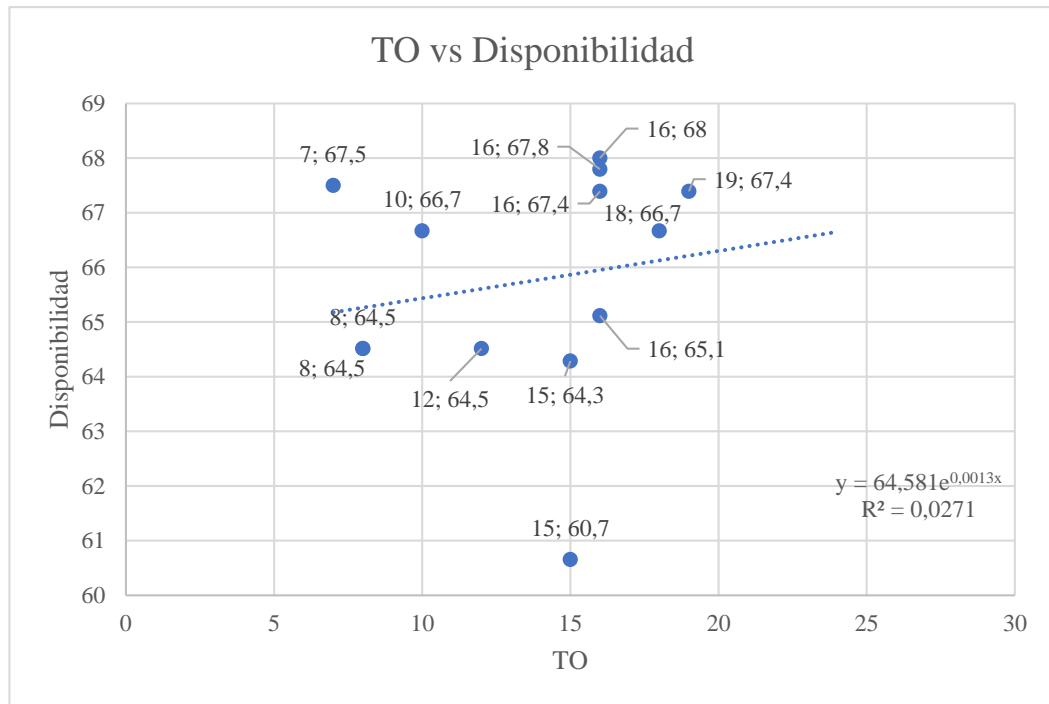


Gráfico. 1 TO vs Disponibilidad de los motores de combustión interna.

En el gráfico 1 se observa que el punto máximo de la disponibilidad es de 68 con un valor de tiempo de operación de 16 horas.

Mediante la gráfica podemos observar el coeficiente de determinación o también llamado de correlación múltiple tiene un valor de 0,0271 y este valor no se acerca a la unidad debido a que los datos obtenidos se encuentran dispersos no existe una correlación determinada.

3.4.3. Matriz AMFE del Motor de Combustión Interna Grupo 1

La matriz AMFE es una matriz de criterios que estima los componentes y funciones, sirve para predecir los fallos, en base a lo expuesto en la NTP 679, 2004 utilizamos los siguientes criterios de ponderación. [20]

Tabla 8 Criterios de Gravedad NTP 679 [20]

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 originaria un ligero inconveniente al cliente. Probablemente, éste observara 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


Tabla 9 Criterios de Frecuencia NTP 679 [20]

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.	4-6
Alta	El fallo se ha presentado con cierta frecuencia en el pasado en procesos similares o previos procesos que han fallado.	7-8
Muy Alta	Fallo casi inevitable. Es seguro que el fallo se producirá frecuentemente	9-10

Tabla 10 Criterios de Detectabilidad NTP 679 [20]

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 posterior.	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

Tabla 11 Matriz AMFE del Motor de Combustión Interna Grupo 1

Matriz AMFE											
Área:	Central Lligua		Marca:	ALCO	Realizado por:	Patricia Roldán		Hoja N°:	1		
Equipo:	Motor de Combustión Interna		Modelo:	251F18GS	Revisado por:	Ing. Christian Castro		De:	6		
N°	Componente	Función	Falla funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IPR	
1	Turbo	Comprimir el aire que circula hasta el motor.	Caídas en las prestaciones	Desgaste	Membrana perforada	Presión irregular	3	5	6	90	Revisar membranas
2	Pistones	Cambiar el volumen y la presión del fluido para conseguir movimiento.	Rotura del pistón	Rotura	Refrigeración insuficiente	Grietas en la cabeza del pistón	4	9	3	108	Revisar frecuentemente el sistema de refrigeración
3	Bloque del motor	Alojar en su interior el cigüeñal, bielas y pistones.	Fugas de aceites	Rotura	Empaques rotos	Parada del proceso	3	6	5	90	Revisar y cambiar los empaques
4	Cigüeñal	Transformar el movimiento lineal de los pistones en un movimiento circular.	Rayado del pasador	Balance incorrecto	Fatiga del cigüeñal	Parada del proceso	4	8	4	128	Realizar el respectivo mantenimiento
5	Cárter	Recoger el aceite que lubrica el motor y este mismo que va cayendo desde la parte superior.	Fisura en el cárter	Fisura	Pérdida de aceite a través de la junta	Pérdida de estanqueidad	3	6	4	72	Revisar las juntas frecuentemente

Matriz AMFE



Área:	Central Lligua		Marca:	ALCO	Realizado por:	Patricia Roldán	Hoja N°:	2			
Equipo:	Motor de Combustión Interna		Modelo:	251F18GS	Revisado por:	Ing. Christian Castro	De:	6			
N°	Componente	Función	Falla funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IPR	
6	Culata	Prevenir pérdidas de compresión para que el motor pueda realizar el proceso de combustión en el interior de los cilindros.	Fugas de líquido	Deterioro	Mal ajuste	Parada del proceso	4	6	5	120	Ajuste correcto
7	Estructura	Hospedar los cilindros y el resto de elementos.	Oxidación	Deterioro	Corrosión	Desgaste de la carcasa	5	3	3	45	Revisión continua y mantenimiento de la carcasa
8	Cilindros	Lugar en el que se quema el combustible y a través de este se genera energía.	Pérdida de potencia	de Rayadura	Enfriadores defectuosos	Socavación	5	6	4	120	Revisión y cambio
9	Árbol de levas	Abrir y cerrar las válvulas que son admisión y además el escape de la culata.	Ruidos y traqueteo	Desgaste	Falta de lubricación	Holgura	4	5	4	80	Revisar el sistema de lubricación
10	Transmisión	Transmitir la potencia que produce el motor.	Vibración y desequilibrio	Desgaste	Peso excesivo	Parada del proceso	3	6	6	108	Limitar subir la potencia del motor

Matriz AMFE



Área:	Central Lligua		Marca:	ALCO	Realizado por:	Patricia Roldán	Hoja N°:	3			
Equipo:	Motor de Combustión Interna		Modelo:	251F18GS	Revisado por:	Ing. Christian Castro	De:	6			
N°	Componente	Función	Falla funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IPR	
11	Suspensión	Acoplar el confort y la estabilidad y al mismo tiempo proteger las piezas.	Ruidos y desgaste	Desgaste	Peso excesivo	Parada del proceso	3	7	5	105	Revisar el sistema
12	Bomba de combustible	Sustentar al motor con el combustible correspondiente a la bomba.	Ruidos y tirones	Obstrucción	Obstrucción del filtro de combustible	Parada del proceso	5	6	4	120	Revisión y limpieza de filtros
13	Bielas	Transmitir la presión que se realiza a través de los gases sobre el pistón que va hacia el cigüeñal.	Fallos de inyección	Rotura	Combustible de mala calidad	Grieta en la biela	3	5	6	90	Suministrar combustible de calidad
14	Filtro de aire	Obstruir que elementos como tierra, suciedad y otros contaminantes vayan al motor.	Reducción significativa en la potencia	Desgaste	Filtro de aire sucio	Disminución del rendimiento del motor	5	5	5	125	Revisión, limpieza y cambio de filtros continuo.
15	Filtro de combustible	Precaver que las impurezas arriben al motor mediante el combustible.	Dificultad de arranque	Desgaste	Filtro de combustible obstruido	Parada del proceso	5	5	6	150	Limpieza y cambio de filtro.


Matriz AMFE



Área:	Central Lligua		Marca:	ALCO	Realizado por:	Patricia Roldán	Hoja N°:	4			
Equipo:	Motor de Combustión Interna		Modelo:	251F18GS	Revisado por:	Ing. Christian Castro	De:	6			
N°	Componente	Función	Falla funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IPR	
16	Carburador	Preservar la mezcla que se produce entre el aire y carburante para el buen funcionamiento de cada motor.	Encendido deficiente	Desgaste	Carburador sucio	No se puede encender el motor	4	5	5	100	Limpieza del carburador
17	Inyectores	Abastecer de combustible exacto a cada cilindro, en el momento determinado.	Bajo rendimiento del motor	Agrietamiento	Inyector agrietado	Fuga de combustible	5	6	4	120	Revisar fugas
18	Válvulas	Aprobar la entrada de la mezcla que se produce entre el combustible y el aire.	Rotura del extremo de la válvula	Rotura	Montaje incorrecto	Parada del proceso	4	4	5	80	Montaje adecuado
19	Bomba de aceite lubricante	Absorber el aceite del cárter y además distribuir por todo el motor para así realizar una correcta lubricación de sus componentes.	Falta de presión	Desgaste	Pérdidas de aceite en la junta de la bomba	Falla en el funcionamiento	5	5	6	150	Revisar juntas

Matriz AMFE



Matriz AMFE							 EEASA Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.				
Área:	Central Lligua		Marca:	ALCO	Realizado por:	Patricia Roldán	Hoja N°:	5			
Equipo:	Motor de Combustión Interna		Modelo:	251F18GS	Revisado por:	Ing. Christian Castro	De:	6			
N°	Componente	Función	Falla funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IPR	
20	Válvula de arranque de aire	Liberar el aire que se encuentra restante en la cámara de compresión cuando el motor se apaga.	Escape de aire	Desgaste	Filtros sucios	Daños en el motor	6	4	5	120	Cambio de filtro
21	Bomba de agua	Realizar que el líquido refrigerante circule por el interior del motor.	Sobrecalentamiento del motor	Desgaste	Juntas dañadas o desgastadas	Parada del proceso	3	6	6	108	Revisión de juntas
22	Filtros de aceite	Proteger el aceite lubricante de todas las impurezas antes de realizar el circuito de engrase del motor.	Disminución de la capacidad del motor	Desgaste	Filtros sucios o dañados	Rendimiento débil del motor	4	6	5	120	Limpieza y cambio de filtro.
23	Válvula diferencial de aceite lubricante	Proteger en la salida del aceite del filtro este después de que se apague el motor.	Desgaste de las piezas	Desgaste	Falta de lubricación	Parada del proceso	4	4	5	80	Revisar la lubricación

Matriz AMFE



Área:	Central Lligua		Marca:	ALCO	Realizado por:	Patricia Roldán		Hoja N°:	6		
Equipo:	Motor de Combustión Interna		Modelo:	251F18GS	Revisado por:	Ing. Christian Castro		De:	6		
N°	Componente	Función	Falla funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IPR	
24	Válvula reguladora de aceite lubricante	Ajustar la presión que se produce del flujo de aceite para garantizar que ésta función sea continua.	Desgaste de las piezas	Desgaste	Falta de lubricación	Parada del proceso	5	4	4	80	Revisar la lubricación
25	Bancada	Sostener las piezas en movimiento.	Desgaste de los soportes	Desgaste	Problemas en las juntas	Pérdida de líquidos	5	4	5	100	Revisión de juntas
26	Cojinetes principales	Disminuir el rozamiento que se da entre los ejes y las piezas sobre aquellas que rotan estos ejes.	Rotura del cojinete	Rotura	Espesor insuficiente de lubricante	Parada del proceso	5	6	5	150	Mejor lubricación
27	Cojinetes secundarios	Aprovisionar una superficie de lubricante que pueda mejorar la fricción.	Rotura del cojinete	Rotura	Espesor insuficiente de lubricante	Parada del proceso	4	6	5	120	Revisión frecuente y mejor lubricación

3.4.4. Criticidad del Motor de Combustión Interna Grupo 1

En el análisis de criticidad se presenta algunos criterios que nos ayudan en la ponderación de algunos de los componentes del motor que se analizan y se les pone un valor dependiendo del aspecto y condición del elemento.

Tabla 12 Factores Criticidad del Motor de Combustión Interna Grupo 1


EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S.A.		 EEASA Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.	
CRITICIDAD MOTOR GRUPO 1			
FACTORES	MALO	REGULAR	BUENO
Estado del turbo	1	-	-
Estado de los pistones	-	1	-
Estado del bloque del motor	-	1	-
Estado del cigüeñal	1	-	-
Estado del cárter	1	-	-
Estado de la culata	1	-	-
Estado de la estructura	-	1	-
Estado de los cilindros	1	-	-
Estado del árbol de levas	1	-	-
Estado de la Transmisión	-	1	-
Estado de la suspensión	-	1	-
Estado de la bomba de combustible	1	-	-
Estado de las bielas	1	-	-
Estado del filtro de aire	1	-	-
Estado del filtro de combustibles	1	-	-
Estado del carburador	1	-	-
Estado de los inyectores	1	-	-
Estado de las válvulas	-	1	-
Estado de la bomba de aceite lubricante	1	-	-
Estado de la Válvula de arranque de aire	1	-	-
Estado de la bomba de agua	-	1	-
Estado de los filtros de aceite	1	-	-
Estado de la válvula diferencial de aceite lubricante	-	1	-
Estado de la válvula reguladora de aceite lubricante	-	1	-
Estado de la bancada	-	1	-
Estado de los cojinetes principales	-	1	-
Estado de los cojinetes secundarios	-	1	-
Estado de las camisas del cilindro	1	-	-

Tabla 13 Jerarquización de los valores de la Criticidad

JERARQUIZACIÓN	Crítico	Semicrítico	No Crítico
IDENTIFICACIÓN			

Tabla 14 Criticidad Motor de Combustión Interna Grupo 1

Nº	COMPONENTE	FRECUENCIA DE FALLA	IMPACTO OPERACIONAL	FLEXIBILIDAD	COSTOS DE MANTT	IMPACTO EN SAH	CONSECUENCIA	CRITICIDAD	ID
1	Turbo	1	8	2	2	8	26	26	
2	Pistones	3	7	2	2	5	21	63	
3	Bloque del motor	2	8	2	2	6	24	48	
4	Cigüeñal	2	7	3	2	8	31	62	
5	Cárter	2	9	2	2	6	26	52	
6	Culata	3	6	3	1	5	24	72	
7	Estructura	1	8	4	2	7	41	41	
8	Cilindros	2	9	3	1	6	34	68	
9	Árbol de levas	2	8	2	1	5	22	44	
10	Transmisión	2	8	4	1	5	38	76	
11	Suspensión	3	5	3	1	6	22	66	
12	Bomba de combustible	4	4	3	1	4	17	68	
13	Bielas	2	6	2	1	5	18	36	
14	Filtro de aire	2	7	4	2	6	36	72	
15	Filtro de combustible	4	6	3	1	5	24	96	
16	Carburador	3	6	3	1	4	23	69	
17	Inyectores	3	7	2	2	5	21	63	
18	Válvulas	2	5	3	1	6	22	44	
19	Bomba de aceite lubricante	3	4	4	1	5	22	66	
20	Válvula de arranque de aire	2	8	3	2	6	32	64	
21	Bomba de agua	3	7	3	2	5	28	84	

N°	COMPONENTE	FRECUENCIA DE FALLA	IMPACTO OPERACIONAL	FLEXIBILIDAD	COSTOS DE MANTT	IMPACTO EN SAH	CONSECUENCIA	CRITICIDAD	ID
22	Filtros de aceite	3	6	3	2	6	26	78	
23	Válvula diferencial de aceite lubricante	2	5	3	1	6	22	44	
24	Válvula reguladora de aceite lubricante	3	4	2	1	5	14	42	
25	Bancada	3	5	3	2	5	22	66	
26	Cojinetes principales	3	7	2	2	6	22	66	
27	Cojinetes secundarios	3	6	3	2	7	27	81	
28	Camisas del cilindro	3	6	3	2	5	25	75	
TOTAL (PROMEDIO)									61,86

3.5.Determinación de la Fiabilidad del motor de combustión interna mediante el modelo matemático y gráfico de Weibull.

3.5.1. Modelo Matemático de Weibull del Motor de Combustión Interna Grupo 1

Tabla 15. Datos estadísticos del motor de combustión Interna Grupo 1.

Actividad	Nº de falla	TO (h)	ln (t)
1	1	16	2,77
2	1	48	3,87
3	1	37	3,61
4	1	42	3,74
5	1	54	3,99
6	1	46	3,83
7	1	38	3,64
8	1	60	4,09
9	1	55	4,01
10	1	42	3,74
11	1	51	3,93
12	1	36	3,58
13	1	47	3,85
14	1	56	4,03
15	1	64	4,16
16	1	51	3,93
17	1	48	3,87
18	1	45	3,81
19	1	55	4,01
20	1	74	4,30
21	1	80	4,38
22	1	42	3,74
23	1	58	4,06
24	1	21	3,04
25	1	36	3,58
26	1	43	3,76
27	1	56	4,03

Actividad	Nº de falla	TO (h)	ln (t)
28	1	66	4,19
Sumatorias	28	1367	107,54

Calculamos la media mediante los datos estadísticos de la tabla 15 correspondientes al motor de combustión interna del grupo 1, obteniendo la sumatoria del ln(TO).

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

Ecuación 12

Donde:

\bar{x} es la media

$$\bar{x} = \frac{107,54}{28}$$

$$\bar{x} = 3,841$$

En la tabla 16 se calcula la varianza, esto se realiza con los valores ya antes obtenidos.

Tabla 16. Varianza del motor de combustión Interna grupo 1

Actividad	Nº de falla	TO (h)	ln (t)	(ln(t)-x)^2
1	1	16	2,77	1,141
2	1	48	3,87	0,001
3	1	37	3,61	0,053
4	1	42	3,74	0,011
5	1	54	3,99	0,022
6	1	46	3,83	0,000
7	1	38	3,64	0,041
8	1	60	4,09	0,064
9	1	55	4,01	0,028
10	1	42	3,74	0,011
11	1	51	3,93	0,008
12	1	36	3,58	0,066
13	1	47	3,85	0,000
14	1	56	4,03	0,034
15	1	64	4,16	0,101
16	1	51	3,93	0,008

Actividad	Nº de falla	TO (h)	ln (t)	(ln(t)-x)^2
17	1	48	3,87	0,001
18	1	45	3,81	0,001
19	1	55	4,01	0,028
20	1	74	4,30	0,215
21	1	80	4,38	0,293
22	1	42	3,74	0,011
23	1	58	4,06	0,048
24	1	21	3,04	0,634
25	1	36	3,58	0,066
26	1	43	3,76	0,006
27	1	56	4,03	0,034
28	1	66	4,19	0,122
Sumatorias	28	1367	107,54	3,048

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

Ecuación 13

Donde:

S^2 es la varianza

$$S^2 = \frac{3,084}{(28 - 1)}$$

$$S^2 = 0,113$$

Ya obtenido el valor de la varianza, se calculará la desviación.

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

Ecuación 14

Donde:

S es la desviación

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

$$S = \sqrt{0,113^2}$$

$$S = 0,336$$

A continuación, se calculó los parámetros requeridos en la ecuación de Weibull.

$$\beta = \frac{\pi}{S\sqrt{6}} \quad \text{Ecuación 15}$$

$$\beta = \frac{\pi}{0,336\sqrt{6}}$$

$$\beta = 3,817$$

$$\alpha = \exp\left(\bar{x} + \left(\frac{0,5772}{\beta}\right)\right) \quad \text{Ecuación 16}$$

$$\alpha = \exp\left(3,841 + \left(\frac{0,5772}{3,817}\right)\right)$$

$$\alpha = 54,163$$

Tabla 17 Parámetros iniciales del Motor de Combustión Interna grupo 1

PARÁMETROS OBTENIDOS		
MEDIA	x	3,841
VARIANZA	S ²	0,113
DESVIACIÓN	S	0,336
BETA	β	3,817
ALPHA	α	54,163
GAMA	γ	0

Se obtuvo los parámetros iniciales, se puede calcular la fiabilidad y la in fiabilidad de Weibull.

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t_0 - \gamma}{\alpha}\right)^{\frac{1}{\beta}}\right] \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde:

$R(t)$ es la Fiabilidad

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{16 - 0}{54,163} \right)^{3,817} \right]$$

$$R(t) = 0,484 = 48,4\%$$

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

Ecuación 18

Donde:

$F(t)$ es la Fiabilidad

$$F(t) = 1 - 0,484$$

$$F(t) = 0,516 = 51,64\%$$

Los parámetros que se calculó son de la fiabilidad e in fiabilidad, el primer dato de la tabla 18, existe 28 datos por lo cual se utilizó un programa de cálculo (Excel) para calcular los mismos parámetros con los siguientes datos.

Tabla 18 Fiabilidad e Infiabilidad del motor de combustión Interna grupo 1

Actividad	Nº de falla	TO (h)	ln (t)	(ln(t)-x)^2	R(t)	R(t) %	F(t)	F(t) %
1	1	16	2,77	1,141	0,484	48,36%	0,516	51,64%
2	1	48	3,87	0,001	0,380	37,95%	0,620	62,05%
3	1	37	3,61	0,053	0,405	40,45%	0,595	59,55%
4	1	42	3,74	0,011	0,392	39,24%	0,608	60,76%
5	1	54	3,99	0,022	0,368	36,82%	0,632	63,18%
6	1	46	3,83	0,000	0,384	38,36%	0,616	61,64%
7	1	38	3,64	0,041	0,402	40,20%	0,598	59,80%
8	1	60	4,09	0,064	0,358	35,80%	0,642	64,20%
9	1	55	4,01	0,028	0,366	36,64%	0,634	63,36%
10	1	42	3,74	0,011	0,392	39,24%	0,608	60,76%
11	1	51	3,93	0,008	0,374	37,37%	0,626	62,63%
12	1	36	3,58	0,066	0,407	40,72%	0,593	59,28%
13	1	47	3,85	0,000	0,382	38,15%	0,618	61,85%
14	1	56	4,03	0,034	0,365	36,47%	0,635	63,53%
15	1	64	4,16	0,101	0,352	35,18%	0,648	64,82%
16	1	51	3,93	0,008	0,374	37,37%	0,626	62,63%

Actividad	Nº de falla	TO (h)	ln (t)	(ln(t)-x)^2	R(t)	R(t) %	F(t)	F(t) %
17	1	48	3,87	0,001	0,380	37,95%	0,620	62,05%
18	1	45	3,81	0,001	0,386	38,57%	0,614	61,43%
19	1	55	4,01	0,028	0,366	36,64%	0,634	63,36%
20	1	74	4,30	0,215	0,338	33,78%	0,662	66,22%
21	1	80	4,38	0,293	0,330	33,04%	0,670	66,96%
22	1	42	3,74	0,011	0,392	39,24%	0,608	60,76%
23	1	58	4,06	0,048	0,361	36,13%	0,639	63,87%
24	1	21	3,04	0,634	0,458	45,83%	0,542	54,17%
25	1	36	3,58	0,066	0,407	40,72%	0,593	59,28%
26	1	43	3,76	0,006	0,390	39,01%	0,610	60,99%
27	1	56	4,03	0,034	0,365	36,47%	0,635	63,53%
28	1	66	4,19	0,122	0,349	34,88%	0,651	65,12%
Sumatorias	28	1367	107,54	3,048				

Con los parámetros obtenidos se realizan dos gráficas, la gráfica 2 del Tiempo de Operación vs Fiabilidad, y la gráfica 3 del Tiempo de Operación vs Infiabilidad.

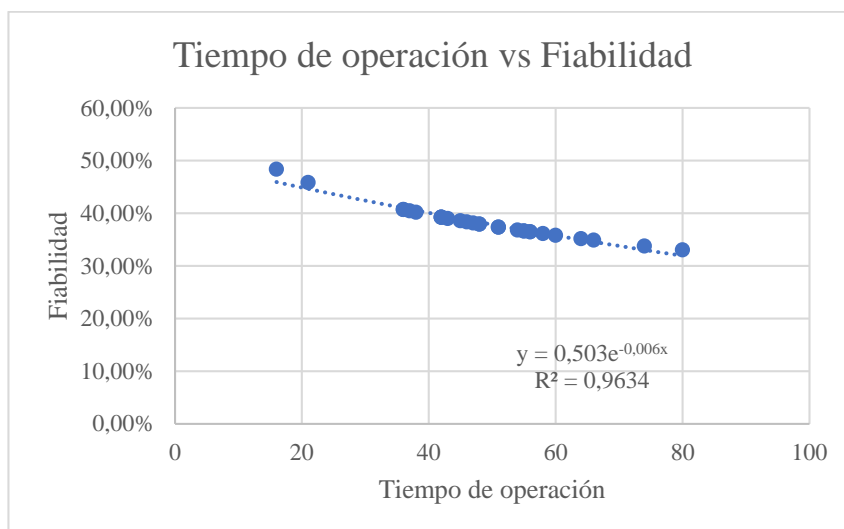


Gráfico. 2 Tiempo de Operación vs Fiabilidad Motor Grupo 1

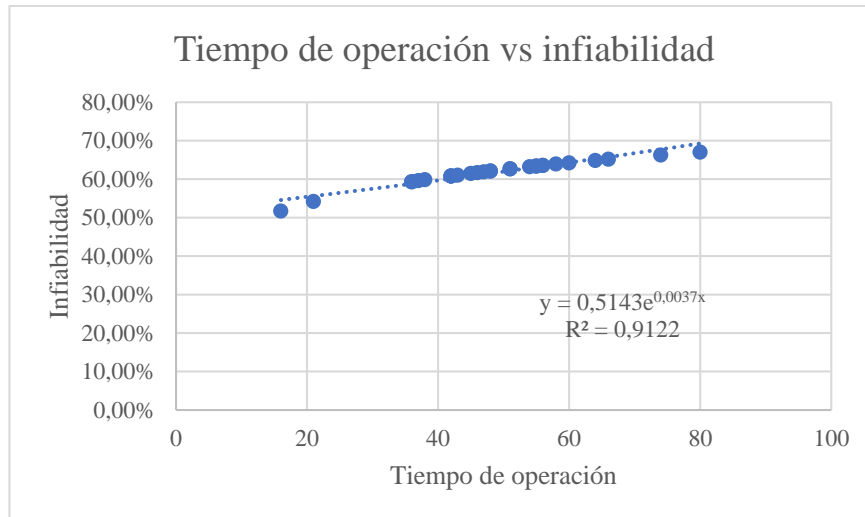


Gráfico. 3 Tiempo de Operación vs In fiabilidad

- ❖ En la gráfica 2 de Tiempo de Operación vs Fiabilidad obtuvo una ecuación exponencial $y = 0,503e^{-0,006x}$, donde se determinó un valor de coeficiente de correlación de $R=0,9634$ cercano a 1 es decir todos los valores están correlacionados entre sí.
- ❖ En la gráfica 3 de Tiempo de Operación vs In fiabilidad se obtuvo una ecuación exponencial $y = 0,5143e^{-0,0037x}$, donde se determinó un valor de coeficiente de correlación de $R=0,9122$ aproximado a 1 es decir que todos los valores están correlacionados entre sí.
- ❖ El porcentaje máximo de fiabilidad obtenido es 66,96 % con un tiempo de operación de 80 horas.

3.5.2. Modelo Gráfico de Weibull del Motor de Combustión Interna Grupo 1

$$F(i) = \frac{i - 0.3}{n + 0.4} \quad \text{Ecuación 19}$$

Tabla 19 Parámetros del modelo gráfico de Weibull del motor de Combustión Interna Grupo 1

Actividad	TO (h)	Rango Medio	Porcentaje de falla acumulativa F(i) %
1	16	0,0246	2,46%
2	48	0,0599	5,99%
3	37	0,0951	9,51%
4	42	0,1303	13,03%

Actividad	TO (h)	Rango Medio	Porcentaje de falla acumulativa F(i) %
5	54	0,1655	16,55%
6	46	0,2007	20,07%
7	38	0,2359	23,59%
8	60	0,2711	27,11%
9	55	0,3063	30,63%
10	42	0,3415	34,15%
11	51	0,3768	37,68%
12	36	0,4120	41,20%
13	47	0,4472	44,72%
14	56	0,4824	48,24%
15	64	0,5176	51,76%
16	51	0,5528	55,28%
17	48	0,5880	58,80%
18	45	0,6232	62,32%
19	55	0,6585	65,85%
20	74	0,6937	69,37%
21	80	0,7289	72,89%
22	42	0,7641	76,41%
23	58	0,7993	79,93%
24	21	0,8345	83,45%
25	36	0,8697	86,97%
26	43	0,9049	90,49%
27	56	0,9401	94,01%
28	66	0,9754	97,54%

Luego se procede a graficar los puntos y los parámetros obtenidos, teniendo en cuenta que en el eje x se encuentra el tiempo de operación y en el eje y el rango medio en porcentaje.

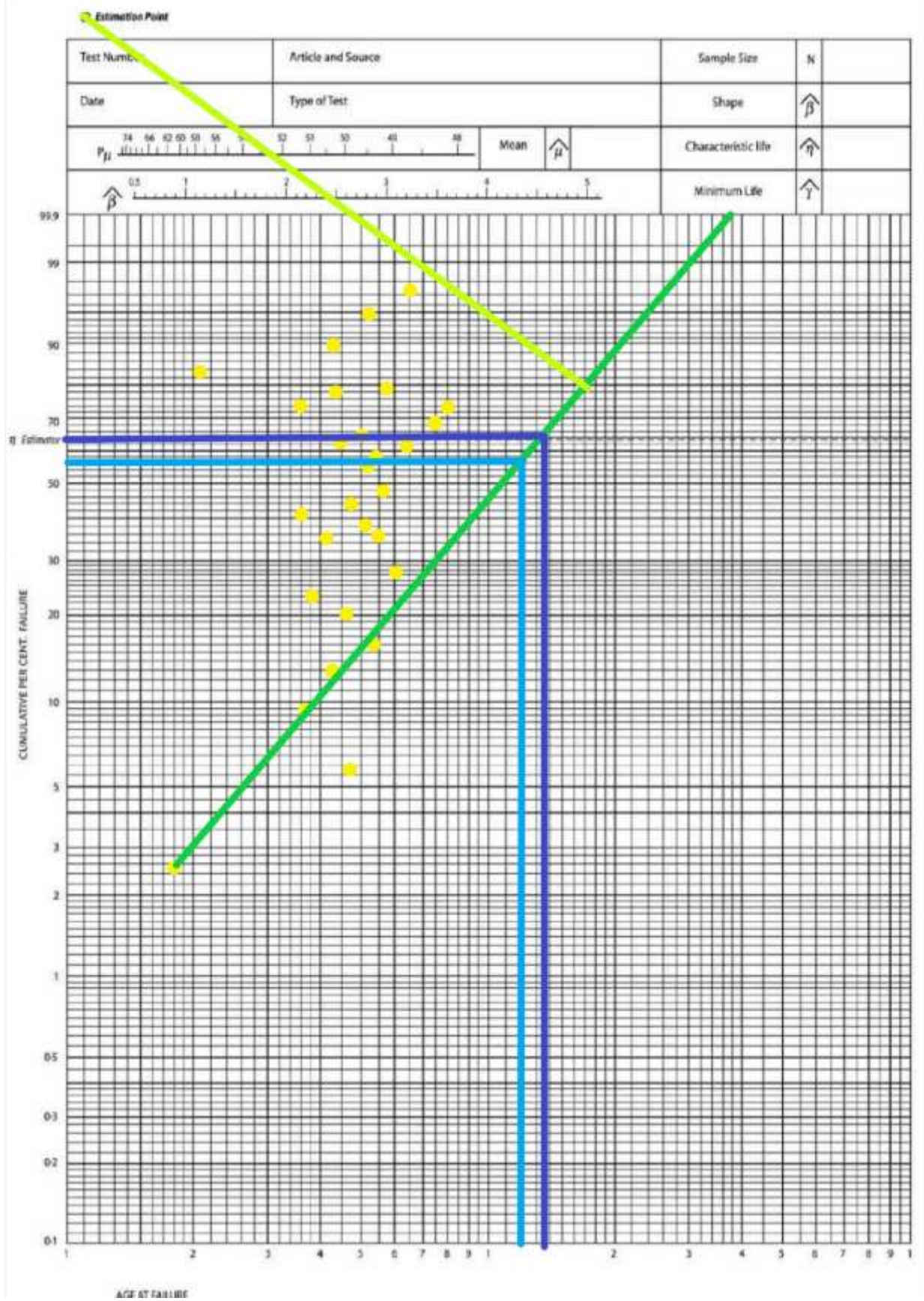


Figura 12 Papel Weibull Motor Grupo 1

Mediante los puntos de la gráfica en el papel de Weibull se obtuvo los datos presentados en la tabla 20.

Tabla 20 Parámetros de falla del motor de Combustión Interna grupo 1

Parámetros	Valores
P_{μ}	52
β	2,43
n	179

Se realizó el cálculo con los parámetros obtenidos en el papel de Weibull aplicando en la fórmula de fiabilidad donde se obtuvo:

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

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{16 - 0}{179} \right)^{\frac{1}{2,9}} \right]$$

$$R(t) = 0,9970 = 99,70 \%$$

Tabla 21 Tabla de porcentajes de Weibull

Actividad	TO (h)	Rango Medio	Porcentaje de falla acumulativa F(i) %	R(t)	R(T) %
1	16	0,0246	2,46%	0,997	99,70%
2	48	0,0599	5,99%	0,958	95,84%
3	37	0,0951	9,51%	0,978	97,75%
4	42	0,1303	13,03%	0,970	96,96%
5	54	0,1655	16,55%	0,945	94,52%
6	46	0,2007	20,07%	0,962	96,24%
7	38	0,2359	23,59%	0,976	97,60%
8	60	0,2711	27,11%	0,930	93,00%
9	55	0,3063	30,63%	0,943	94,28%
10	42	0,3415	34,15%	0,970	96,96%
11	51	0,3768	37,68%	0,952	95,21%
12	36	0,4120	41,20%	0,979	97,89%
13	47	0,4472	44,72%	0,960	96,04%
14	56	0,4824	48,24%	0,940	94,04%
15	64	0,5176	51,76%	0,919	91,88%
16	51	0,5528	55,28%	0,952	95,21%

Actividad	TO (h)	Rango Medio	Porcentaje de falla acumulativa F(i) %	R(t)	R(T) %
17	48	0,5880	58,80%	0,958	95,84%
18	45	0,6232	62,32%	0,964	96,43%
19	55	0,6585	65,85%	0,943	94,28%
20	74	0,6937	69,37%	0,887	88,69%
21	80	0,7289	72,89%	0,865	86,53%
22	42	0,7641	76,41%	0,970	96,96%
23	58	0,7993	79,93%	0,935	93,53%
24	21	0,8345	83,45%	0,994	99,42%
25	36	0,8697	86,97%	0,979	97,89%
26	43	0,9049	90,49%	0,968	96,79%
27	56	0,9401	94,01%	0,940	94,04%
28	66	0,9754	97,54%	0,913	91,28%

Mediante una hoja de cálculo en el programa Excel realizo una gráfica de tiempo de operación vs Confiabilidad.

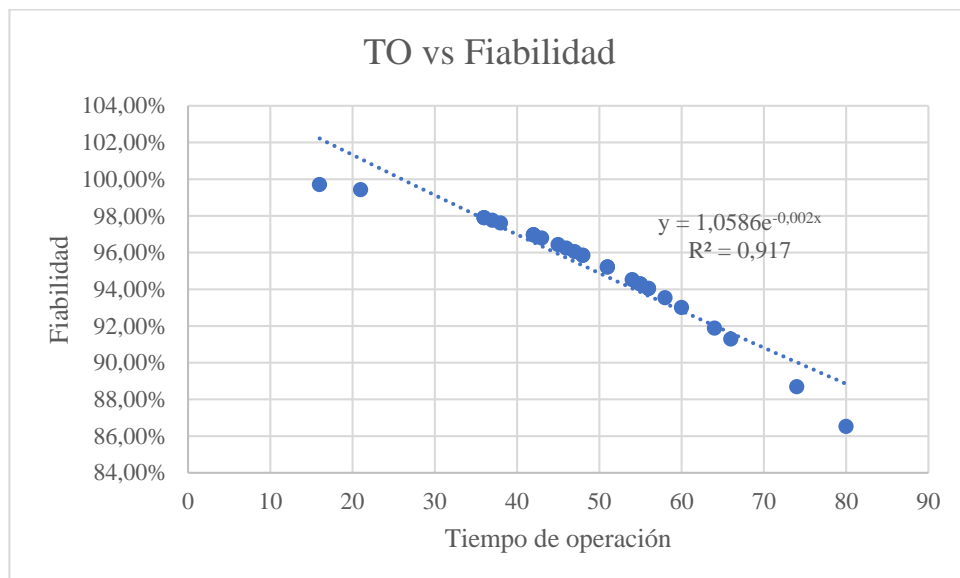


Gráfico. 4 Tiempo de Operación vs Confiabilidad

En el gráfico 4 se puede determinar algunas conclusiones:

- ❖ La ecuación exponencial en la cual se presenta a continuación $y = 1,0586e^{-0,002x}$, está ecuación es la más cercana a todos los puntos que se muestran en la gráfica mediante la tabla realizada en el programa Excel.
- ❖ Mediante la gráfica se determinó que la ecuación tiene un valor de $R=0,917$ este valor se aproxima a 1, con lo cual se determina que los datos obtenidos están correlacionados con la ecuación exponencial.
- ❖ El porcentaje máximo que se obtuvo mediante el método gráfico obtenido es del 99,70% con un tiempo de operación de 16 horas.
- ❖ El porcentaje mínimo que se obtuvo mediante el método gráfico de Weibull es del 86,53% con un tiempo de operación de 80 horas.
- ❖ De la gráfica podemos observar que mientras más alto sea el valor de la fiabilidad menor es el tiempo de operación, esto se produce ya que el tiempo de operación sea mayor la máquina y sus componentes existen más desgaste y fallos.

3.6.MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA GRUPO 2

Tabla 22 Ficha técnica del Motor de Combustión Interna Grupo 2

	Universidad Técnica de Ambato		 EEASA Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.	
	Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica			
	Carrera de Mecánica			
Ficha de:	Máquina	X	Equipo	-
MOTOR DE COMBUSTION INTERNA PARA GENERADOR 2				
				
CÓDIGO			EEASA-MC0024	
Características Generales				
Marca:	ALCO	Combustible:	Diésel tipo 4	
Modelo:	251F18GS	R.P.M DEL MOTOR:	900	
Serie:	35405-16599	Procedencia:	Americana	
Año:	1956	Dimensiones:	4800*2550*1400 mm	
Componentes				
Bloque del motor		Culata		
Pistones		Árbol de levas		
Cigüeñal		Cilindros		
Carter		Válvulas		
Función:	Es la parte de una máquina gracias a la cual funciona todo el sistema. Realiza un trabajo transformando energía, de combustible a energía eléctrica.			
Observaciones:	Motor de combustión, para generador N 2.			

Las características principales del equipo.

- Motor Turbo Diésel
- Configuración de los pistones: En V
- Combustible: Diésel Tipo 4
- Sistema de refrigeración: Agua no recircular (Radiadores)

- Dimensiones: 4800*2550 mm

Condiciones de servicio

- Temperatura de trabajo: 100 °C
- Tipo de instalación: Horizontal
- Tiempo de funcionamiento: 8 horas

Instrucciones de funcionamiento


- Inspección visual de los sistemas
- Verificar que la instalación eléctrica se encuentre en condiciones óptimas de funcionamiento.
- Verificar que la instalación neumática se encuentra en condiciones óptimas de funcionamiento.
- Verificar que la instalación hidráulica se encuentre en condiciones óptimas de funcionamiento.
- Verificar que el sistema de lubricación se encuentre en condiciones óptimas de funcionamiento.
- Verificar que el sistema de combustible se encuentre en condiciones óptimas de funcionamiento.
- Prelubricar el aceite del block.
- Cargar los tanques de aire
- Encendido del panel de control
- Etapa de calentamiento del turbo


Normas de seguridad

- El motor debe ser utilizado por personal calificado.
- Verificar que no exista fugas antes del encendido del motor.
- Si existe fugas de combustible apagar el motor.
- No manipular los componentes internos cuando el motor se encuentre encendido.
- Utilizar la ropa adecuada, zapatos dieléctricos, guantes, gafas.
- No utilizar cadenas, pulseras, anillos u cualquier otro objeto en el área de trabajo.

3.6.1. DISPONIBILIDAD MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA GRUPO 2

Tabla 23 Disponibilidad del motor de Combustión interna Grupo 2

EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S.A.											
CENTRAL LLIGUA											
											
Mes	Actividades	Fecha	TO (h)	TP (h)	TR (h)	TM (h)	$\frac{\Sigma TO}{n}$ TMBF	$\frac{\Sigma TR}{N}$ MTTR	$\lambda = \frac{1}{TMBF}$ λ	$\mu = \frac{1}{MTTR}$ μ	$D = \frac{\Sigma TMBF}{\Sigma TMBF + \Sigma MTTR}$ Disponibilidad
Agosto	Procede a vaciar el sistema de agua del grupo #2 debido a fallas al abrir las tapas del cárter se observa presencia de agua en una de las bielas R8.	3/8/2021	10	8	5	3	14	5,5	0,071	0,182	71,8
	Revisar de sistema de balancines para válvulas de admisión y de escape.	9/8/2021	18	8,5	6	2,5					
Septiembre	Limpieza del tanque de combustible y la parte baja del cárter se limpia con desengrasante.	10/9/2021	14	11	7	4	13,5	6,5	0,07	0,154	67,5
	Limpieza filtro de aire admisión de turbo.	28/9/2021	13	9	6	3					


EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S.A.											
CENTRAL LLIGUA											
											
Mes	Actividades	Fecha	TO (h)	TP (h)	TR (h)	TM (h)	$\frac{\Sigma TO}{n}$ TMBF	$\frac{\Sigma TR}{N}$ MTTR	$\lambda = \frac{1}{TMBF}$ λ	$\mu = \frac{1}{MTTR}$ μ	$D = \frac{\Sigma TMBF}{\Sigma TMBF + \Sigma MTTR}$ Disponibilidad
Octubre	Cambio del filtro Strainer del grupo #2 reemplazando con el filtro lavado	7/10/2021	12	7	5	2	11,5	4,5	0,09	0,222	71,9
	Reajuste de abrazaderas de la cañería del filtro	20/10/2021	11	6	4	2					
Noviembre	Desmontaje y montaje de la camisa L8 del grupo #2.	4/11/2021	5	17	14	3	14	12	0,07	0,083	53,8
	Calibrar las 18 válvulas del grupo #2.	28/11/2021	23	14	10	4					
Diciembre	Verificar la bomba de agua.	3/12/2021	18	11	9	2	18,5	8,5	0,05	0,118	68,5
	Calibrar válvulas	20/12/2021	19	11	8	3					
Enero	Mantenimiento preventivo al turbo.	5/1/2022	15	12	9	3	19,5	9,5	0,05	0,105	67,2
	Se realiza una limpieza íntegra con desengrasante de la Unidad #2 de la Central Lligua y la sala de máquinas.	8/1/2022	24	12	10	2					

EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S.A.



CENTRAL LLIGUA

Mes	Actividades	Fecha	TO (h)	TP (h)	TR (h)	TM (h)	$\frac{\Sigma TO}{n}$ TMBF	$\frac{\Sigma TR}{N}$ MTTR	$\lambda = \frac{1}{TMBF}$ λ	$\mu = \frac{1}{MTTR}$ μ	$D = \frac{\Sigma TMBF}{\Sigma TMBF + \Sigma MTTR}$ Disponibilidad
Febrero	Corregir tubos de aceite y diésel	4/2/2022	8	10	7	3	11	6,5	0,09	0,154	62,9
	Cambio de acople en la tubería de combustible de la Central Lligua.	21/2/2022	14	7,5	6	1,5					
Marzo	Revisión de empaquetadura, apriete de pernos y limpieza general.	3/3/2022	18	7,5	5	2,5	15	6,5	0,07	0,154	69,8
	Limpieza de inyectores y cañerías de distribución	25/3/2022	12	9,5	8	1,5					
Abril	Limpieza de filtro y ductos de aire y ventilación	6/4/2022	16	9	7	2	15	6,5	0,07	0,154	69,8
	Limpieza de filtro y ductos de refrigeración	19/4/2022	14	10	6	4					
Mayo	Limpieza y lavado con desengrasante de la unidad #2 de la central Lligua.	9/5/2022	19	9,5	7	2,5	13,5	7	0,07	0,143	65,9
	Control y corrección de fugas de aceite.	29/5/2022	8	9,5	7	2,5					

EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S.A.											
CENTRAL LLIGUA											
Mes	Actividades	Fecha	TO (h)	TP (h)	TR (h)	TM (h)	$\frac{\Sigma TO}{n}$ TMBF	$\frac{\Sigma TR}{N}$ MTTR	$\lambda = \frac{1}{TMBF}$ λ	$\mu = \frac{1}{MTTR}$ u	$D = \frac{\Sigma TMBF}{\Sigma TMBF + \Sigma MTTR}$ Disponibilidad
Junio	Mantenimiento preventivo manómetros y termómetros	3/6/2022	16	9,5	8	1,5	15,5	7,5	0,06	0,133	67,4
	Sacar las bujías para limpiarlas y se limpia el filtro centrífugo del aceite.	26/6/2022	15	8	7	1					
Julio	Cambio de aceite unidad No2	8/7/2022	6	7,5	5	2,5	8	5,5	0,13	0,182	59,3
	Mantenimiento compresores y tanques	23/7/2022	10	8,5	6	2,5					
Agosto	Verificar estanqueidad caja resistencias y bomba de agua.	6/8/2022	4	5,5	4	1,5	8,5	5	0,12	0,200	63,0
	Cambio de manguera de combustible	28/8/2022	13	8	6	2					
Promedio											66,0

3.6.2. TO vs DISPONIBILIDAD MOTOR GRUPO 2

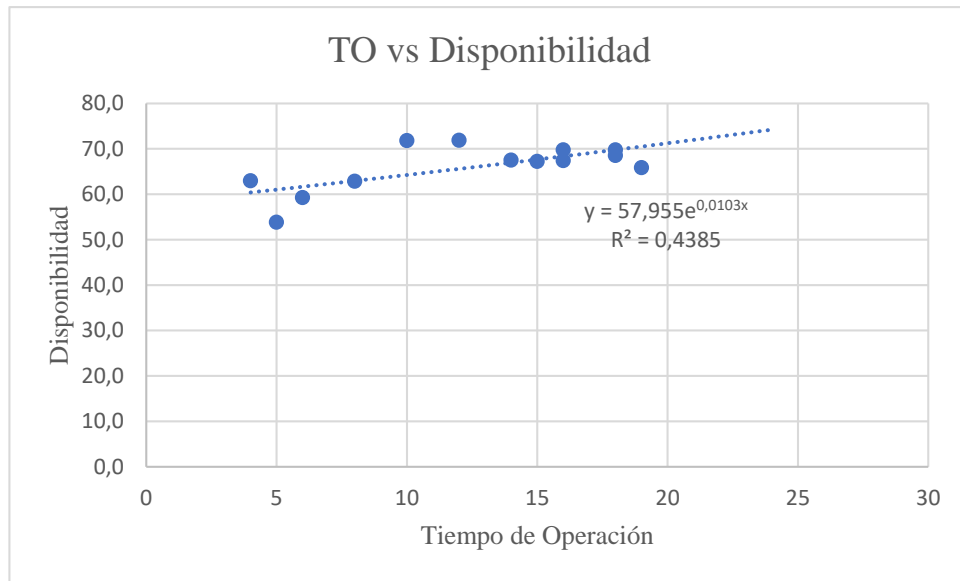



Gráfico. 5 Tiempo de Operación vs Disponibilidad Motor Grupo 2

En el gráfico 5 obtenemos una ecuación exponencial de $y = 57,955e^{0,0103x}$ mediante la determinación de la ecuación de correlación tienen un valor de 0,4385 y este está lejano a la unidad, lo que muestra que los datos no están correlacionados es decir están dispersos en la gráfica, el valor máximo de disponibilidad porcentual es de 45,65 % con un tiempo de operación de 20 horas y el valor mínimo es de 33,30% con un tiempo de operación de 68 horas.

3.6.3. MATRIZ AMFE MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA GRUPO 2

Tabla 24 Matriz AMFE del Motor de Combustión Interna Grupo 2

Matriz AMFE										 EEASA Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.	
Área:	Central Lligua		Marca:	ALCO	Realizado por:	Patricia Roldán		Hoja N°:	1		
Equipo:	Motor de Combustión Interna		Modelo:	251F18GS	Revisado por:	Ing. Christian Castro		De:	6		
N°	Componente	Función	Falla funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IPR	
1	Turbo	Comprimir el aire que circula hasta el motor.	Caídas en las prestaciones	Desgaste	Membrana perforada	Presión irregular	4	5	4	80	Revisar membranas
2	Pistones	Cambiar el volumen y la presión del fluido para conseguir movimiento.	Rotura del pistón	Rotura	Refrigeración insuficiente	Grietas en la cabeza del pistón	3	8	5	120	Revisar frecuentemente el sistema de refrigeración
3	Bloque del motor	Alojar en su interior el cigüeñal, bielas y pistones.	Fugas de aceites	Rotura	Empaques rotos	Parada del proceso	6	8	3	144	Revisar y cambiar los empaques
4	Cigüeñal	Transformar el movimiento lineal de los pistones en un movimiento circular.	Golpeteo Mecánico	Rotura	Cigüeñal roto	No hay transmisión de movimiento	2	8	2	32	Revisar y cambiar el cigüeñal
5	Cárter	Recoger el aceite que lubrica el motor y este mismo que va cayendo desde la parte superior.	Fisura en el cárter	Fisura	Pérdida de aceite a través de la junta	Pérdida de estanqueidad	4	7	4	112	Revisar las juntas frecuentemente

Matriz AMFE



Área:		Central Lligua		Marca:	ALCO	Realizado por:	Patricia Roldán		Hoja N°:	2	
Equipo:		Motor de Combustión Interna		Modelo:	251F18GS	Revisado por:	Ing. Christian Castro		De:	6	
N°	Componente	Función	Falla funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IPR	
6	Culata	Prevenir pérdidas de compresión para que el motor pueda realizar el proceso de combustión en el interior de los cilindros.	Fugas de líquido	Deterioro	Mal ajuste	Parada del proceso	4	6	5	120	Ajuste correcto
7	Estructura	Hospedar los cilindros y el resto de elementos.	Oxidación	Deterioro	Corrosión	Desgaste de la carcasa	5	3	3	45	Revisión continua y mantenimiento de la carcasa
8	Cilindros	Lugar en el que se quema el combustible y a través de este se genera energía.	Pérdida de potencia	Desgaste	Válvula de escape defectuosa.	Socavación	5	7	4	140	Revisión y cambio de la válvula
9	Árbol de levas	Abrir y cerrar las válvulas que son admisión y además el escape de la culata.	Ruidos y traqueteo	Desgaste	Falta de lubricación	Temperatura elevada	4	7	5	140	Revisar el sistema de lubricación y refrigeración
10	Transmisión	Transmitir la potencia que produce el motor.	Vibración y desequilibrio	Desgaste	Peso excesivo	Parada del proceso	4	6	5	120	Limitar subir la potencia del motor
11	Suspensión	Acoplar el confort y la estabilidad y al mismo tiempo proteger las piezas.	Ruidos y desgaste	Desgaste	Peso excesivo	Parada del proceso	3	5	5	75	Revisar el sistema

Matriz AMFE



Área:	Central Lligua		Marca:	ALCO	Realizado por:	Patricia Roldán		Hoja N°:	3		
Equipo:	Motor de Combustión Interna		Modelo:	251F18GS	Revisado por:	Ing. Christian Castro		De:	6		
N°	Componente	Función	Falla funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IPR	
12	Bomba de combustible	Acoplar el confort y la estabilidad y al mismo tiempo proteger las piezas.	Ruidos y tirones	Obstrucción	Obstrucción del filtro de combustible	Parada del proceso	5	6	4	120	Revisión y limpieza de filtros
13	Bielas	Sustentar al motor con el combustible correspondiente a la bomba.	Fallos de inyección	Rotura	Combustible de mala calidad	Grieta en la biela	4	6	6	144	Suministrar combustible de calidad
14	Filtro de aire	Transmitir la presión que se realiza a través de los gases sobre el pistón que va hacia el cigüeñal.	Desgaste de bujías	Desgaste	Filtro de aire sucio	Disminución del rendimiento del motor	5	5	4	100	Revisión, limpieza y cambio de las bujías.
15	Filtro de combustible	Obstruir que elementos como tierra, suciedad y otros contaminantes vayan al motor.	Dificultad de arranque	Desgaste	Filtro de combustible obstruido	Parada del proceso	4	6	6	144	Limpieza y cambio de filtro.
16	Carburador	Precaver que las impurezas arriben al motor mediante el combustible.	Encendido deficiente	Desgaste	Carburador sucio	No se puede encender el motor	5	5	5	125	Limpieza del carburador

Matriz AMFE



N°	Componente	Función	Falla funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IPR	
17	Inyectores	Preservar la mezcla que se produce entre el aire y carburante para el buen funcionamiento de cada motor.	Tambaleo	Agrietamiento	Perdida de torque y potencia	Fuga de combustible	4	4	5	80	Revisar fugas
18	Válvulas	Abastecer de combustible exacto a cada cilindro, en el momento determinado.	Falta de presión	Desgaste	Mal uso de funcionamiento	Parada del proceso	4	4	5	80	Montaje adecuado
19	Bomba de aceite lubricante	Aprobar la entrada de la mezcla que se produce entre el combustible y el aire.	Fallo en la bomba	Desgaste	Tubería obstruida	Falla en el funcionamiento	4	5	6	120	Limpieza y revisión de tuberías.
20	Válvula de arranque de aire	Absorber el aceite del cárter y además distribuir por todo el motor para así realizar una correcta lubricación de sus componentes.	Escape de aire	Desgaste	Filtros sucios	Daños en el motor	5	4	4	80	Cambio de filtro

Matriz AMFE



Área:		Central Lligua		Marca:	ALCO	Realizado por:	Patricia Roldán		Hoja N°:	5	
Equipo:		Motor de Combustión Interna		Modelo:	251F18GS	Revisado por:	Ing. Christian Castro		De:	6	
N°	Componente	Función	Falla funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IPR	
21	Bomba de agua	Liberar el aire que se encuentra restante en la cámara de compresión cuando el motor se apaga.	Sobrecalentamiento del motor	Desgaste	Juntas dañadas o desgastadas	Parada del proceso	3	6	6	108	Revisión de juntas
22	Filtros de aceite	Realizar que el líquido refrigerante circule por el interior del motor.	Disminución de la capacidad del motor	Desgaste	Filtros sucios o dañados	Rendimiento débil del motor	4	6	5	120	Limpieza y cambio de filtro.
23	Válvula diferencial de aceite lubricante	Proteger el aceite lubricante de todas las impurezas antes de realizar el circuito de engrase del motor.	Desgaste de las piezas	Desgaste	Falta de lubricación	Parada del proceso	4	4	5	80	Revisar la lubricación
24	Válvula reguladora de aceite lubricante	Proteger en la salida del aceite del filtro este después de que se apague el motor.	Desgaste de las piezas	Desgaste	Rotura del diafragma	Parada del proceso	5	4	5	100	Revisar y cambiar el diafragma.
25	Bancada	Ajustar la presión que se produce del flujo de aceite para garantizar que esta función sea continua.	Desgaste de los soportes	Desgaste	Problemas en las juntas	Pérdida de líquidos	5	5	4	100	Revisión de juntas

Matriz AMFE



Área:	Central Lligua	Marca:	ALCO	Realizado por:	Patricia Roldán	Hoja N°:	6				
Equipo:	Motor de Combustión Interna	Modelo:	251F18GS	Revisado por:	Ing. Christian Castro	De:	6				
N°	Componente	Función	Falla funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IPR	
26	Cojinetes principales	Sostener las piezas en movimiento.	Rotura del cojinete	Rotura	Espesor insuficiente de lubricante	Parada proceso del	4	6	5	120	Mejor lubricación
27	Cojinetes secundarios	Disminuir el rozamiento que se da entre los ejes y las piezas sobre aquellas que rotan estos ejes.	Rotura del cojinete	Rotura	Espesor insuficiente de lubricante	Parada proceso del	4	5	5	100	Revisión frecuente y mejor lubricación
28	Camisas del cilindro	Aprovisionar una superficie de lubricante que pueda mejorar la fricción.	Fricción en las camisas de los cilindros	Desgaste	Deficiencia en el filtro de aceite	Parada proceso del	4	6	5	120	Revisar los sistemas de lubricación y los filtros.

3.6.4. Criticidad Motor de Combustión Interna Grupo 2

Tabla 25 Factores de Criticidad Motor de Combustión Interna Grupo 2


EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S.A.		 EEASA Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.	
CENTRAL LLIGUA			
CRITICIDAD MOTOR GRUPO 2			
FACTORES	MALO	REGULAR	BUENO
Estado del turbo	-	1	-
Estado de los pistones	-	1	-
Estado del bloque del motor	-	1	-
Estado del cigüeñal	-	1	-
Estado del cárter	1	-	-
Estado de la culata	1	-	-
Estado de la estructura	-	1	-
Estado de los cilindros	1	-	-
Estado del árbol de levas	-	1	-
Estado de la Transmisión	1	-	-
Estado de la suspensión	-	1	-
Estado de la bomba de combustible	-	1	-
Estado de las bielas	-	1	-
Estado del filtro de aire	1	-	-
Estado del filtro de combustibles	1	-	-
Estado del carburador	-	1	-
Estado de los inyectores	1	-	-
Estado de las válvulas	-	1	-
Estado de la bomba de aceite lubricante	1	-	-
Estado de la Válvula de arranque de aire	-	1	-
Estado de la bomba de agua	1	-	-
Estado de los filtros de aceite	-	1	-
Estado de la válvula diferencial de aceite lubricante	1	-	-
Estado de la válvula reguladora de aceite lubricante	1	-	-
Estado de la bancada	-	1	-
Estado de los cojinetes principales	1	-	-
Estado de los cojinetes secundarios	1	-	-
Estado de las camisas del cilindro	1	-	-

Tabla 26 Criticidad Motor de Combustión Interna Grupo 2

Nº	COMPONENTE	FRECUENCIA DE FALLA	IMPACTO OPERACIONAL	FLEXIBILIDAD	COSTOS DE MANTT	IMPACTO EN SAH	CONSECUENCIA	CRITICIDAD	ID
1	Turbo	2	8	2	1	7	24	48	
2	Pistones	3	7	3	1	6	28	84	
3	Bloque del motor	2	8	4	1	6	39	78	
4	Cigüeñal	1	6	1	1	5	12	12	
5	Cárter	3	5	3	1	7	23	69	
6	Culata	3	6	3	2	5	25	75	
7	Estructura	2	7	1	1	6	14	28	
8	Cilindros	3	7	3	1	5	27	81	
9	Árbol de levas	3	6	2	2	7	21	63	
10	Transmisión	2	7	3	2	8	31	62	
11	Suspensión	2	5	3	1	6	22	44	
12	Bomba de combustible	3	8	2	1	5	22	66	
13	Bielas	2	7	3	2	6	29	58	
14	Filtro de aire	3	7	3	2	5	28	84	
15	Filtro de combustible	3	6	3	2	5	25	75	
16	Carburador	3	7	3	1	7	29	87	
17	Inyectores	2	8	2	2	7	25	50	
18	Válvulas	3	8	1	1	6	15	45	
19	Bomba de aceite lubricante	3	7	2	2	5	21	63	
20	Válvula de arranque de aire	3	6	2	1	4	17	51	
21	Bomba de agua	2	7	4	2	4	34	68	

Nº	COMPONENTE	FRECUENCIA DE FALLA	IMPACTO OPERACIONAL	FLEXIBILIDAD	COSTOS DE MANTT	IMPACTO EN SAH	CONSECUENCIA	CRITICIDAD	ID
22	Filtros de aceite	3	7	2	2	5	21	63	
23	Válvula diferencial de aceite lubricante	3	6	1	2	6	14	42	
24	Válvula reguladora de aceite lubricante	3	6	3	2	4	24	72	
25	Bancada	3	7	2	1	6	21	63	
26	Cojinetes principales	3	5	3	2	4	21	63	
27	Cojinetes secundarios	3	5	3	2	4	21	63	
28	Camisas del cilindro	4	6	2	1	6	19	76	
TOTAL (PROMEDIO)								61,89	

3.6.5. Modelo Matemático de Weibull del Motor de Combustión Interna Grupo 2

Tabla 27 Datos estadísticos del Motor de Combustión Interna Grupo 2

Actividad	Nº de falla	TO (h)	ln (t)
1	1	20	3,00
2	1	35	3,56
3	1	41	3,71
4	1	26	3,26
5	1	34	3,53
6	1	41	3,71
7	1	43	3,76
8	1	53	3,97
9	1	29	3,37
10	1	37	3,61
11	1	46	3,83
12	1	49	3,89
13	1	54	3,99
14	1	56	4,03
15	1	64	4,16
16	1	66	4,19
17	1	62	4,13
18	1	56	4,03
19	1	57	4,04
20	1	44	3,78
21	1	45	3,81
22	1	32	3,47
23	1	29	3,37
24	1	25	3,22
25	1	31	3,43
26	1	20	3,00
27	1	56	4,03
28	1	68	4,22
Sumatorias	28	1219	104,07

Se calculó la media mediante los datos estadísticos de la tabla 27 correspondientes al motor de combustión interna del grupo 2, obteniendo la sumatoria del ln(TO).

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

$$\bar{x} = \frac{104,07}{28}$$

$$\bar{x} = 3,717$$

En la tabla 28 se calculó la varianza, esto se realiza con los valores ya obtenidos.

Tabla 28. Datos calculados del Motor de Combustión Interna Grupo 2

Actividad	Nº de falla	TO (h)	ln (t)	(ln(t)-x)^2
1	1	20	3,00	0,520
2	1	35	3,56	0,026
3	1	41	3,71	0,000
4	1	26	3,26	0,210
5	1	34	3,53	0,036
6	1	41	3,71	0,000
7	1	43	3,76	0,002
8	1	53	3,97	0,064
9	1	29	3,37	0,122
10	1	37	3,61	0,011
11	1	46	3,83	0,013
12	1	49	3,89	0,031
13	1	54	3,99	0,074
14	1	56	4,03	0,095
15	1	64	4,16	0,195
16	1	66	4,19	0,224
17	1	62	4,13	0,168
18	1	56	4,03	0,095
19	1	57	4,04	0,106
20	1	44	3,78	0,005
21	1	45	3,81	0,008
22	1	32	3,47	0,063
23	1	29	3,37	0,122

Actividad	Nº de falla	TO (h)	ln (t)	(ln(t)-x)^2
24	1	25	3,22	0,248
25	1	31	3,43	0,080
26	1	20	3,00	0,520
27	1	56	4,03	0,095
28	1	68	4,22	0,253
Sumatorias	28	1219	104,07	3,387

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

$$S^2 = \frac{3,387}{(28 - 1)}$$

$$S^2 = 0,125$$

Ya obtenido el valor de la varianza, se calculó la desviación.

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

$$S = \sqrt{0,125^2}$$

$$S = 0,354$$

A continuación, se calculó los parámetros requeridos en la ecuación de Weibull.

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

$$\beta = \frac{\pi}{0,354\sqrt{6}}$$

$$\beta = 3,621$$

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

$$\alpha = \exp\left(3,717 + \left(\frac{0,5772}{3,621}\right)\right)$$

$$\alpha = 54,163$$

Tabla 29 Parámetros iniciales del Motor de Combustión Interna Grupo 2

Parámetros Obtenidos		
MEDIA	x	3,717
Varianza	S ²	0,125
Desviación	S	0,354
BETA	β	3,621
ALPHA	α	48,238
GAMA	γ	0

Ya obtenidos los parámetros iniciales, se puede calcular la fiabilidad y la in fiabilidad de Weibull.

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

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{20 - 0}{48.238} \right)^{\frac{1}{3.621}} \right]$$

$$R(t) = 0,457 = 45,65\%$$

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

$$F(t) = 1 - 0,457$$

$$F(t) = 0,543 = 54,35\%$$

Los parámetros calculados fueron de la fiabilidad e in fiabilidad del primer dato de la tabla 30, tenemos 28 datos por lo cual se utilizó un programa de cálculo (Excel) para calcular los mismos parámetros con lo demás datos.

Tabla 30 Fiabilidad e Infiabilidad del Motor de Combustión Interna Weibull Grupo 2

Actividad	Nº de falla	TO (h)	ln (t)	(ln(t)-x)^2	R(t)	R(t) %	F(t)	F(t) %
1	1	20	3,00	0,520	0,457	45,65%	0,543	54,35%
2	1	35	3,56	0,026	0,400	40,04%	0,600	59,96%
3	1	41	3,71	0,000	0,384	38,44%	0,616	61,56%
4	1	26	3,26	0,210	0,430	43,04%	0,570	56,96%
5	1	34	3,53	0,036	0,403	40,34%	0,597	59,66%
6	1	41	3,71	0,000	0,384	38,44%	0,616	61,56%
7	1	43	3,76	0,002	0,380	37,96%	0,620	62,04%
8	1	53	3,97	0,064	0,358	35,83%	0,642	64,17%
9	1	29	3,37	0,122	0,419	41,94%	0,581	58,06%
10	1	37	3,61	0,011	0,395	39,48%	0,605	60,52%
11	1	46	3,83	0,013	0,373	37,27%	0,627	62,73%
12	1	49	3,89	0,031	0,366	36,63%	0,634	63,37%
13	1	54	3,99	0,074	0,356	35,64%	0,644	64,36%
14	1	56	4,03	0,095	0,353	35,27%	0,647	64,73%
15	1	64	4,16	0,195	0,339	33,92%	0,661	66,08%
16	1	66	4,19	0,224	0,336	33,61%	0,664	66,39%
17	1	62	4,13	0,168	0,342	34,24%	0,658	65,76%
18	1	56	4,03	0,095	0,353	35,27%	0,647	64,73%
19	1	57	4,04	0,106	0,351	35,09%	0,649	64,91%
20	1	44	3,78	0,005	0,377	37,72%	0,623	62,28%
21	1	45	3,81	0,008	0,375	37,49%	0,625	62,51%
22	1	32	3,47	0,063	0,409	40,95%	0,591	59,05%
23	1	29	3,37	0,122	0,419	41,94%	0,581	58,06%
24	1	25	3,22	0,248	0,434	43,43%	0,566	56,57%
25	1	31	3,43	0,080	0,413	41,27%	0,587	58,73%
26	1	20	3,00	0,520	0,457	45,65%	0,543	54,35%
27	1	56	4,03	0,095	0,353	35,27%	0,647	64,73%
28	1	68	4,22	0,253	0,333	33,30%	0,667	66,70%
Sumatorias	28	1219	104,07	3,387				

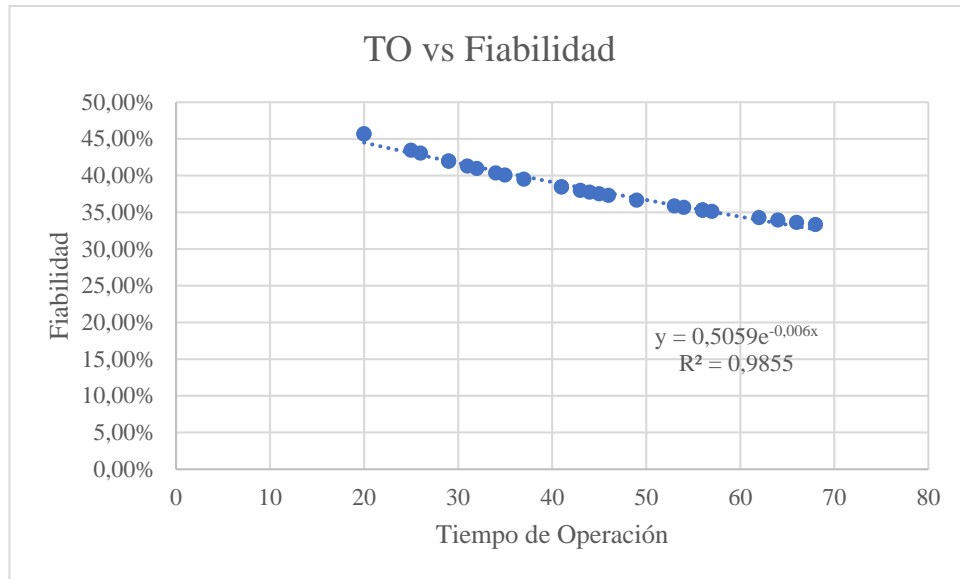


Gráfico. 6 Tiempo de Operación vs Fiabilidad

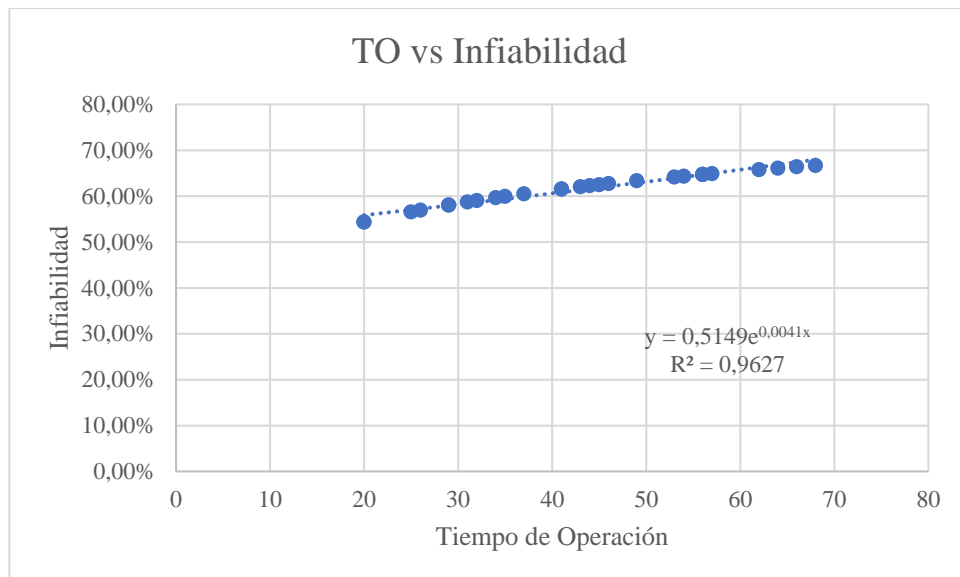


Gráfico. 7 Tiempo de Operación vs Infiabilidad

- ❖ En el gráfico 6 de Tiempo de Operación vs Fiabilidad obtenemos una ecuación exponencial $y = 0,5059e^{-0,006x}$, donde se determina un valor de coeficiente de correlación de $R=0,9855$ cercano a 1 es decir todos los valores están correlacionados entre sí.
- ❖ En el gráfico 7 de Tiempo de Operación vs Infiabilidad se obtuvo una ecuación exponencial $y = 0,5149e^{0,0041x}$, donde se determina un valor de coeficiente de correlación de $R=0,9627$ aproximado a 1 es decir que todos los valores están correlacionados entre sí.

- ❖ El porcentaje máximo de fiabilidad obtenido es 45,65% con un tiempo de operación de 20 horas.
- ❖ El porcentaje máximo de in fiabilidad obtenido es 66,70% con un tiempo de operación de 68 horas.

3.6.6. Modelo Gráfico de Weibull del Motor de Combustión Interna Grupo 2

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

Se grafica los puntos y los parámetros obtenidos, tomando en cuenta que en el eje x se encuentra el tiempo de operación y en el eje y el rango medio en porcentaje.

Tabla 31 Parámetros del método gráfico de Weibull Generador Grupo 2

Actividad	TO (h)	Rango Medio	Porcentaje de falla acumulativa F(i) %	R(t)	R(T) %
1	20	0,0246	2,46%	0,955	95,49%
2	35	0,0599	5,99%	0,875	87,50%
3	41	0,0951	9,51%	0,835	83,50%
4	26	0,1303	13,03%	0,927	92,69%
5	34	0,1655	16,55%	0,881	88,13%
6	41	0,2007	20,07%	0,835	83,50%
7	43	0,2359	23,59%	0,821	82,09%
8	53	0,2711	27,11%	0,745	74,55%
9	29	0,3063	30,63%	0,911	91,08%
10	37	0,3415	34,15%	0,862	86,21%
11	46	0,3768	37,68%	0,799	79,90%
12	49	0,4120	41,20%	0,776	77,64%
13	54	0,4472	44,72%	0,738	73,76%
14	56	0,4824	48,24%	0,722	72,17%
15	64	0,5176	51,76%	0,657	65,69%
16	66	0,5528	55,28%	0,640	64,05%
17	62	0,5880	58,80%	0,673	67,32%
18	56	0,6232	62,32%	0,722	72,17%
19	57	0,6585	65,85%	0,714	71,37%
20	44	0,6937	69,37%	0,814	81,36%
21	45	0,7289	72,89%	0,806	80,64%
22	32	0,7641	76,41%	0,893	89,35%
23	29	0,7993	79,93%	0,911	91,08%
24	25	0,8345	83,45%	0,932	93,20%
25	31	0,8697	86,97%	0,899	89,94%
26	20	0,9049	90,49%	0,955	95,49%
27	56	0,9401	94,01%	0,722	72,17%
28	68	0,9754	97,54%	0,624	62,40%

Mediante los puntos de la gráfica en el papel de Weibull se obtiene los datos presentados en la tabla 32.

Tabla 32 Parámetros de falla del motor de Combustión Interna grupo 2

Parámetros	Valor
$P\mu$	54,7
β	1,9
n	101

Se realiza el cálculo con los parámetros obtenidos en el papel de Weibull en la fórmula de fiabilidad donde se obtiene:

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

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{20 - 0}{101} \right)^{\frac{1}{1,9}} \right]$$

$$R(t) = 0,9549 = 95,49 \%$$

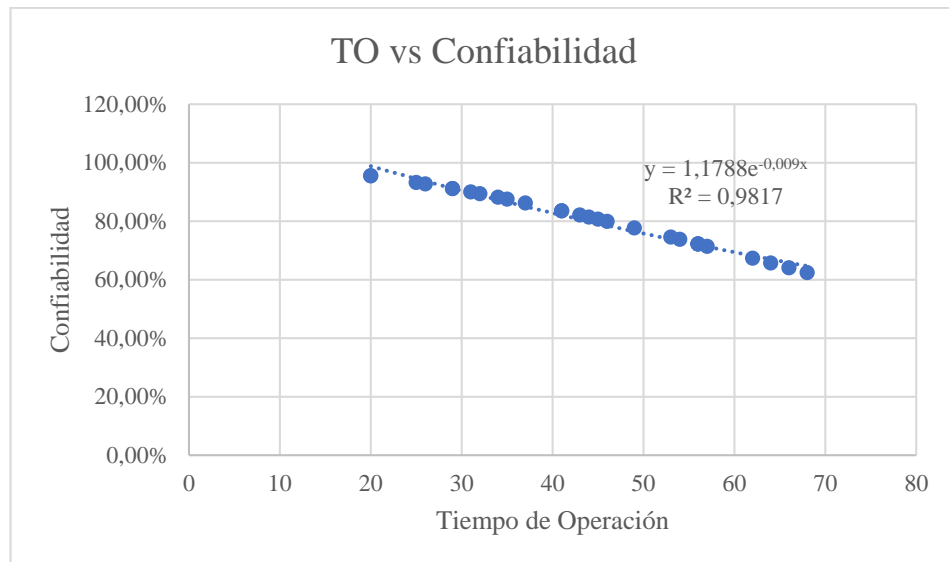


Gráfico. 8 Tiempo de Operación vs Confiabilidad Generador Grupo 2

En el gráfico 8 mediante los datos de Tiempo de Operación vs Confiabilidad tenemos una ecuación exponencial de $y = 1.17788e^{-0,009x}$, esta ecuación es la más cercana a todos los puntos que se tiene en la gráfica mediante la tabla en el programa de Excel.

El coeficiente de correlación que se obtuvo mediante los datos es de un valor de $R = 0,9817$ este valor es cercano a 1 es decir que los datos tienen correlación entre sí.

El porcentaje de fiabilidad máximo mediante el método gráfico de Weibull es del 95,49% con un tiempo de operación de 20 horas.

3.7.GENERADOR SINCRÓNICO DE CORRIENTE ALTERNA GRUPO 1

Tabla 33 Ficha técnica del generador sincrónico de corriente alterna grupo 1.

	Universidad Técnica de Ambato			
	Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica			
	Carrera de Mecánica			
Ficha de:	Máquina	X	Equipo	
GENERADOR SINCRÓNICO DE CORRIENTE ALTERNA				
				
CÓDIGO		EEASA-GG0016		
Características Generales				
Marca:	BELOIT POWER	AMP.:	752/434	
PH/HZ/VOLT	3/60/2400/4160	R.P.M.:	900	
Serie:	504449-R1	Temperatura:	115°C	
Tipo:	TBGZDJ/V-23	Dimensiones:	120*157*150 mm	
Componentes				
Motor		Carcasa		
Alternador		Rodamientos		
Estator		Regulador		
Rotor		Panel de control		
Función:	Un generador es una máquina eléctrica rotativa que transformar energía mecánica en energía eléctrica.			
Observaciones:	Generador sincrónico de corriente alterna grupo 1.			

Las características principales del equipo.

Características del Equipo

- Potencia máxima: 1.5 KW
- Potencia Nominal: 2.8 KW
- Amperaje: 752/434
- Revoluciones: 900
- Dimensiones: 1200*1570 mm

Condiciones de servicio

- Temperatura de trabajo: 115 °C
- Tipo de instalación: Horizontal
- Tiempo de funcionamiento: 24 horas normalmente, pero se limita al funcionamiento del motor 8 horas.
- N° de operarios requeridos: 1

Instrucciones de funcionamiento


- Después del calentamiento del turbo
- Sincronismo y conexión en paralelo con red en referencia (Interruptor mecánico)
- Elevación de voltaje a 13.8 KW
- Salida a los alimentadores

Normas de seguridad

- Los generadores deben ser utilizado por personal calificado
- No manipular los componentes internos cuando el generador de encuentre encendido.
- Verificar que los generadores que no exista ninguna alteración antes del encendido del motor.
- Verificar que las conexiones se encuentren en buen estado.
- Utilizar la ropa adecuada, zapatos dieléctricos, guantes, gafas.
- No utilizar cadenas, pulseras, anillos u cualquier otro objeto en el área de trabajo.

3.7.1. Disponibilidad del Generador Grupo 1

Tabla 34 Disponibilidad del Generador Grupo 1

EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S.A.											 EEASA Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.
CENTRAL LLIGUA											
Mes	Actividades	Fecha	TO (h)	TP (h)	TR (h)	TM (h)	$\frac{\Sigma TO}{n}$ TMBF	$\frac{\Sigma TR}{N}$ MTTR	$\lambda = \frac{1}{TMBF}$ λ	$\mu = \frac{1}{MTTR}$ μ	$D = \frac{\Sigma TMBF}{\Sigma TMBF + \Sigma MTTR}$ Disponibilidad
Agosto	Calibración de elementos de control: manómetros, termómetros, válvulas de seguridad.	9/8/2021	11	6	4	2	16,5	5	0,061	0,200	76,74418605
	Revisar el panel de control electrónico	11/8/2021	22	8,5	6	2,5					
Septiembre	Limpieza externa del equipo	10/9/2021	14	8	4	4	13,5	4,5	0,07	0,222	75,0
	Comprobar la ventilación	19/9/2021	13	7	5	2					
Octubre	Comprobar el estado general del equipo	6/10/2021	16	9	7	2	13	5	0,08	0,200	72,2
	Limpieza interior y revisar empaquetaduras	3/10/2021	10	5,5	3	2,5					
Noviembre	Comprobar conexiones	12/11/2021	5	7	4	3	10	4,5	0,10	0,222	69,0

EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S.A.



EEASA
Empresa Eléctrica Ambato
Regional Centro Norte S.A.

CENTRAL LLIGUA

Mes	Actividades	Fecha	TO (h)	TP (h)	TR (h)	TM (h)	$\frac{\Sigma TO}{n}$ TMBF	$\frac{\Sigma TR}{N}$ MTTR	$\lambda = \frac{1}{TMBF}$ λ	$\mu = \frac{1}{MTTR}$ u	$D = \frac{\Sigma TMBF}{\Sigma TMBF + \Sigma MTTR}$ Disponibilidad
	Cambiar y limpiar conductos de ventilación	15/11/2021	15	9	5	4					
Diciembre	Comprobar equilibrio de rotor	14/12/2021	7	4	2	2	9,5	3	0,11	0,333	76
	Revisar superficie del colector	20/12/2021	12	5	4	1					
Enero	Comprobar las conexiones del colector	7/1/2022	8	8	5	3	7,5	4	0,13	0,250	65,2
	Revisar las conexiones eléctricas	21/1/2022	7	5	3	2					
Febrero	Revisar lubricación	23/2/2022	10	7	4	3	11,5	3	0,09	0,333	79,3
	Observar ruidos anormales y vibraciones	20/2/2022	13	3,5	2	1,5					
Marzo	Revisar cojinetes	22/3/2022	10	5,5	3	2,5	11	4	0,09	0,250	73,3
	Revisar nivel de lubricación	16/3/2022	12	7	5	2					
Abril	Comprobar estado general del equipo	18/4/2022	22	5	3	2	18	3	0,06	0,333	85,7

EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S.A.



EEASA
 Empresa Eléctrica Ambato
 Regional Centro Norte S.A.

CENTRAL LLIGUA

Mes	Actividades	Fecha	TO (h)	TP (h)	TR (h)	TM (h)	$\frac{\Sigma TO}{n}$ TMBF	$\frac{\Sigma TR}{N}$ MTTR	$\lambda = \frac{1}{TMBF}$ λ	$\mu = \frac{1}{MTTR}$ u	$D = \frac{\Sigma TMBF}{\Sigma TMBF + \Sigma MTTR}$ Disponibilidad
	Limpieza interior del equipo	20/4/2022	14	7	3	4					
Mayo	Verificar el filtro de aire	6/5/2022	12	6,5	4	2,5	10,5	3,5	0,10	0,286	75,0
	Revisar las conexiones del agua de salida	10/5/2022	9	4,5	3	1,5					
Junio	Verificar las mangueras del radiador	12/6/2022	3	5,5	4	1,5	9,5	3,5	0,11	0,286	73,1
	Cambiar los filtro de aire	17/6/2022	16	5,5	3	2,5					
Julio	Limpiar el ducto de aire del respirador	15/7/2022	24	4	2	2	22	3	0,05	0,333	88,0
	Depurar el sistema de enfriamiento	16/7/2022	20	6,5	4	2,5					
Agosto	Verificar el funcionamiento en conjunto con el operador del equipo	24/8/2022	24	6,5	5	1,5	14,5	5,5	0,07	0,182	72,5
	Reemplazar las escobillas	5/8/2022	5	8	6	2					
PROMEDIO											75,5

3.7.2. TO vs DISPONIBILIDAD GENERADOR GRUPO 1

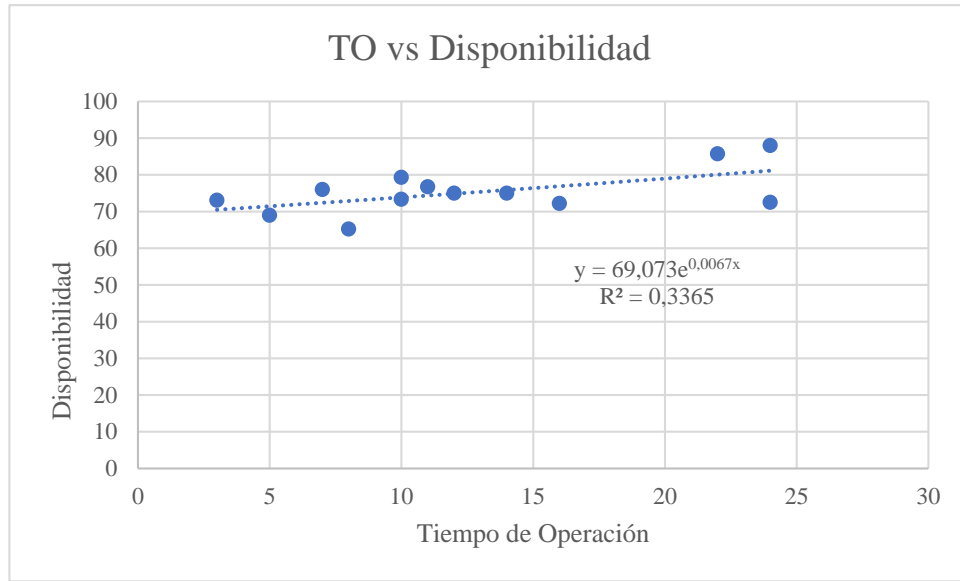


Gráfico. 9 Tiempo de Operación vs Disponibilidad Generador Grupo 1

Mediante el gráfico 9 de Tiempo de Operación vs Disponibilidad del Generador del Grupo 1 se tiene mediante los datos calculado en el programa de Excel la ecuación exponencial de $y = 69,073e^{0,0067x}$, con un coeficiente de correlación obtenido de $R = 0,3365$ este valor está lejano a la unidad, es decir que los valores están dispersos en la gráfica o no tienen correlación.

3.7.3. Matriz AMFE del Generador Grupo 1

Tabla 35 Matriz AMFE del Generador Grupo 1

<h1>Matriz AMFE</h1>							 EEASA Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.				
Área:	Central Lligua		Marca:	BELOIT POWER	Realizado por:	Patricia Roldan		Hoja N°:	1		
Equipo :	Generador Sincrónico de Corriente Alterna		Tipo:	TBGZDJ/V-23	Revisado por:	Ing. Christian Castro		De:	8		
N°	Componente	Función	Falla funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IPR	
1	Estator	Contener la parte fija del alternador y es donde se encuentra las bobinas inducidas.	Fisuras	Sobrecalentamiento	Alta temperatura	Parada del proceso	5	5	6	150	Revisar frecuentemente
2	Rotor	Realizar los campos magnéticos para poder generar la corriente inducida.	Rotores desbalanceados	Desbalance	Mal montaje	Parada del proceso	5	8	4	160	Montaje correcto y verificado
3	Polos del rotor	Ser el número de juegos de los bobinados electromagnéticos de vías que posee un motor.	Polos quemados	Quemado	Sobrecalentamiento	Parada del proceso	4	8	4	128	Revisar el sistema

Matriz AMFE



EEASA
Empresa Eléctrica Ambato
Regional Centro Norte S.A.

N°	Componente	Función	Falla funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IPR	
4	Aislamiento	Agregar la confiabilidad, además previene las fallas tempranas y también extiende la vida útil.	Contaminación y humedad	Sobrecalentamiento	Frecuentes paradas del motor	Parada del proceso	5	4	4	80	Limpieza y revisión
5	Ventilación	Aspirar el calor que produce el motor y el alternador.	Obstrucción de materiales	Corrosión	Daños físicos	Parada del proceso	4	4	5	80	Limpieza del sistema de ventilación
6	Sistema de escape	Vaciar los gases que están en alta temperatura que son producidos por el motor.	Juntas desoldadas o rotas	Ruptura	Condiciones difíciles	Parada del proceso	5	4	5	100	Revisar el sistema de escape
7	Calentadores anti-condensación	Disminuir el contenido de humedad que contiene el alternador.	Formación de condensación	Condensación	Condiciones deficientes de la fuente de alimentación	Parada del proceso	3	4	6	72	Limpieza de los calentadores

Matriz AMFE



EEASA
Empresa Eléctrica Ambato
Regional Centro Norte S.A.

Área:	Central Lligua		Marca:	BELOIT POWER	Realizado por:	Patricia Roldan		Hoja N°:	3		
Equipo :	Generador Sincrónico de Corriente Alterna		Tipo:	TBGZDJ/V-23	Revisado por:	Ing. Christian Castro		De:	8		
N°	Componente	Función	Falla funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IPR	
8	Detectores de temperatura	Cuantificar la temperatura por medio de una señal eléctrica determinada.	No marca la temperatura correcta	Desgaste	Tiempo de uso	Parada del proceso	3	6	5	90	Revisar los detectores
9	Rodamientos	Reducir la fricción entre los diferentes elementos móviles que se encuentren.	Desgaste	Contaminantes extraños	Lubricación inadecuada	Parada del proceso	4	7	5	140	Revisar sistema de lubricación
10	Excitatriz	Suministrar todas las corrientes de excitación a través de las bobinas del estator, en donde sucede que se genera el campo magnético.	Rotura de excitatriz	Fisura	Sobrecarga	Parada del proceso	7	3	4	84	Mantenimiento de la excitatriz
11	Bobinas del rotor	Crear el campo inductor cuando circulan por ellas las corrientes de excitación.	Cables sin recubrimiento	Quemado	Picos de voltaje	Parada del proceso	6	5	6	180	Revisar las conexiones

Matriz AMFE



EEASA
Empresa Eléctrica Ambato
Regional Centro Norte S.A.

N°	Componente	Función	Falla funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IPR	
Área:	Central Lligua		Marca:	BELOIT POWER	Realizado por:	Patricia Roldan		Hoja N°:	4		
Equipo :	Generador Sincrónico de Corriente Alterna		Tipo:	TBGZDJ/V-23	Revisado por:	Ing. Christian Castro		De:	8		
12	Bobinas del estator	Es un ser electroimán formado por algún número par de polos.	Cables sin recubrimiento	Quemado	Sobrecarga	Parada del proceso	5	6	3	90	Revisar las conexiones frecuentemente
13	Culata	Servir para cerrar el circuito magnético y también para sujetar los polos.	Fisura en la culata	Desgaste	Fallo en la refrigeración	Parada del proceso	4	5	6	120	Revisar las partes y su funcionamiento
14	Núcleo del inducido	Limitar el flujo magnético que es creado por los devanados inductores.	Corriente insuficiente	Desgaste	Tiempo de uso	Parada del proceso	4	6	5	120	Verificar los elementos antes de su funcionamiento
15	Devanado inducido	Suprimir la reacción de inducido; esto es, el campo magnético que es creado por la corriente que circula por el inducido.	Voltaje Insuficiente	Desgaste	Tiempo de uso	Parada del proceso	5	7	4	140	Verificar los elementos antes de su funcionamiento
16	Colector	Trasladar señales o potencia eléctrica de una estructura fija a una móvil.	Contacto malo	Desgaste	Tiempo de uso	Parada del proceso	4	4	5	80	Revisar los elementos

Matriz AMFE



N°	Componente	Función	Falla funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IPR	
Área:	Central Lligua		Marca:	BELOIT POWER	Realizado por:	Patricia Roldan		Hoja N°:	5		
Equipo :	Generador Sincrónico de Corriente Alterna		Tipo:	TBGZDJ/V-23	Revisado por:	Ing. Christian Castro		De:	8		
17	Escobillas	Desempeñar la conexión eléctrica entre la parte fija y giratoria que hay dentro de un motor.	Fisura en la escobilla	Ruptura	Sobrecarga	Parada del proceso	5	3	6	90	Revisar los elementos
18	Regulador de voltaje	Aprovisionar una excitación CC al campo de la excitatriz de un generador para mantener la tensión terminal.	Voltaje de salida distinto	Desgaste	Tiempo de uso	Parada del proceso	3	4	5	60	Verificar los sistemas para el funcionamiento
19	Sistema de enfriamiento y escape	Observar que el generador no se sobrecaliente, este es mayormente utilizado como vía al exterior.	Taponamiento del sistema	Sobrecalentamiento	Altas temperaturas	Parada del proceso	5	5	6	150	Revisar los sistemas de enfriamiento y escape
20	Recolector	Efectuar la conversión de corriente alterna hacia la corriente continua.	No se realiza la conversión de corriente	Desgaste	Daños físicos	Parada del proceso	4	6	5	120	Revisar el sistema

Matriz AMFE



EEASA
Empresa Eléctrica Ambato
Regional Centro Norte S.A.

Área:	Central Lligua		Marca:	BELOIT POWER	Realizado por:	Patricia Roldan		Hoja N°:	6		
Equipo :	Generador Sincrónico de Corriente Alterna		Tipo:	TBGZDJ/V- 23	Revisado por:	Ing. Christian Castro		De:	8		
N°	Componente	Función	Falla funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IPR	
21	Alternador	Cambiar la energía mecánica en energía eléctrica.	Bobina Oxidada	Desgaste	Corrosión	Parada del proceso	5	4	5	100	Mantenimiento de los componentes
22	Panel de control	Controlar, monitorear y diagnosticar su grupo electrógeno con facilidad.	Cables con revestimiento sin recubrimiento	Desgaste	Falta de revisión	Parada del proceso	4	6	5	120	Revisar que el panel se encuentre en óptimas condiciones de funcionamiento
23	Filtros de aire	Asegurar que aquel aire que llega a los cilindros que sirve para mezclarse con el combustible este completamente limpio y libre de cualquier impureza.	Filtro sucio	Desgaste	Impurezas en el filtro	Parada del proceso	5	6	4	120	Cambio de filtros

Matriz AMFE



EEASA
Empresa Eléctrica Ambato
Regional Centro Norte S.A.

N°	Componente	Función	Falla funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IPR	
Área:	Central Lligua		Marca:	BELOIT POWER	Realizado por:	Patricia Roldan		Hoja N°:	7		
Equipo :	Generador Sincrónico de Corriente Alterna		Tipo:	TBGZDJ/V-23	Revisado por:	Ing. Christian Castro		De:	8		
24	Sistema de lubricación	Repartir el aceite por todas las partes móviles con la función de lubricarlas.	Aire en el lubricante	Calentamiento del aceite	Filtración inadecuada	Parada del proceso	5	6	5	150	Verificar el sistema de lubricación y revisar
25	Carcasa	Complementar el circuito magnético entre los polos y procede como un soporte mecánico para las partes del generador.	Daños físicos	Corrosión	Acumulación de partículas	Parada del proceso	4	6	5	120	Revisar la parte externa y sus condiciones
26	Soporte	Producir instalaciones más elásticas. Evitando así las vibraciones.	Fisura	Desgaste	Condiciones físicas	Parada del proceso	5	6	5	150	Verificar el soporte frecuentemente

Matriz AMFE



EEASA
Empresa Eléctrica Ambato
Regional Centro Norte S.A.

Área:	Central Lligua		Marca:	BELOIT POWER	Realizado por:	Patricia Roldan		Hoja N°:	8		
Equipo :	Generador Sincrónico de Corriente Alterna		Tipo:	TBGZDJ/V- 23	Revisado por:	Ing. Christian Castro		De:	8		
N°	Componente	Función	Falla funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IPR	
27	Bobinado de campo	Causar la alta tensión, con la cual se va a producir alimentar a la bujía en motores de combustión.	Agotamiento de rebobinado	Desgaste	Sobrecarga	Parada del proceso	4	6	5	120	Cambiar las bobinas

3.7.4. Criticidad del Generador Sincrónico de corriente Alterna Grupo 1

Tabla 36 Parámetros de Criticidad Generador Grupo 1


EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S.A.			
CENTRAL LLIGUA			
FACTORES	MALO	REGULAR	BUENO
Estado del estator	-	1	-
Estado del eje del rotor	1	-	-
Estado de los polos del rotor	1	-	-
Estado del aislamiento	-	1	-
Estado de la ventilación	-	1	-
Estado del sistema de escape	1	-	-
Estado del aislamiento del pedestal	1	-	-
Estado de los calentadores anti condensación	1	-	-
Estado de los detectores de temperatura	1	-	-
Estado de los rodamientos	-	1	-
Estado de la excitatriz	-	1	-
Estado de las bobinas del rotor	1	-	-
Estado de las bobinas del estator	1	-	-
Estado de la culata	-	1	-
Estado del núcleo del inducido	1	-	-
Estado del devanado inducido	1	-	-
Estado del colector	-	1	-
Estado de las escobillas	1	-	-
Estado del regulador de voltaje	-	1	-
Estado del sistema de enfriamiento y escape	1	-	-
Estado del recolector	1	-	-
Estado del alternador	-	1	-
Estado del panel de control	-	1	-
Estado de los filtros de aire	1	-	-
Estado del sistema de lubricación	1	-	-
Estado de la carcasa	-	1	-
Estado del soporte	1	-	-
Estado del bobinado de campo	1	-	-

Tabla 37 Cálculo de Criticidad Generador Grupo 1

Nº	COMPONENTE	FRECUENCIA DE FALLA	IMPACTO OPERACIONAL	FLEXIBILIDAD	COSTOS DE MANTT	IMPACTO EN SAH	CONSECUENCIA	CRITICIDAD	ID
1	Estator	2	8	3	2	8	34	68	Red
2	Rotor	3	5	3	2	6	23	69	Red
3	Polos del rotor	3	6	3	2	6	26	78	Red
4	Aislamiento	2	7	3	2	5	28	56	Yellow
5	Ventilación	2	9	1	1	6	16	32	Green
6	Sistema de escape	3	7	2	2	7	23	69	Red
7	Calentadores anti condensación	2	7	3	1	5	27	54	Yellow
8	Detectores de temperatura	2	8	2	1	7	24	48	Yellow
9	Rodamientos	3	5	3	2	6	23	69	Red
10	Excitatriz	1	6	4	2	8	34	34	Yellow
11	Bobinas del rotor	3	5	4	1	5	26	78	Red
12	Bobinas del estator	2	7	3	1	6	28	56	Yellow
13	Culata	3	6	3	2	7	27	81	Red
14	Núcleo del inducido	3	8	3	1	6	31	93	Red
15	Devanado inducido	2	7	4	2	8	38	76	Red
16	Colector	3	8	1	2	7	17	51	Yellow
17	Escobillas	2	7	3	1	6	28	56	Yellow
18	Regulador de voltaje	2	7	3	1	5	27	54	Yellow

Nº	COMPONENTE	FRECUENCIA DE FALLA	IMPACTO OPERACIONAL	FLEXIBILIDAD	COSTOS DE MANTT	IMPACTO EN SAH	CONSECUENCIA	CRITICIDAD	ID
19	Sistema de enfriamiento y escape	3	5	3	1	8	24	72	
20	Recolector	2	8	4	1	7	40	80	
21	Alternador	3	7	3	2	6	29	87	
22	Panel de control	4	8	2	1	7	24	96	
23	Filtros de aire	3	7	3	2	6	29	87	
24	Sistema de lubricación	2	8	4	1	6	39	78	
25	Carcasa	3	6	3	2	8	28	84	
26	Soporte	3	6	3	1	5	24	72	
27	Bobinado de campo	3	7	2	2	7	23	69	
PROMEDIO								68,41	

3.7.5. Modelo Matemático de Weibull del Generador Sincrónico de Corriente Alterna Grupo 1

Tabla 38 Datos estadísticos del Generador Grupo 1

Actividad	Nº de falla	TO (h)	ln (t)
1	1	24	3,18
2	1	37	3,61
3	1	46	3,83
4	1	54	3,99
5	1	54	3,99
6	1	56	4,03
7	1	38	3,64
8	1	62	4,13
9	1	57	4,04
10	1	48	3,87
11	1	56	4,03
12	1	55	4,01
13	1	47	3,85
14	1	48	3,87
15	1	49	3,89
16	1	52	3,95
17	1	56	4,03
18	1	58	4,06
19	1	62	4,13
20	1	74	4,30
21	1	80	4,38
22	1	49	3,89
23	1	53	3,97
24	1	20	3,00
25	1	34	3,53
26	1	51	3,93
27	1	43	3,76
Sumatorias	27	1363	104,87

Se calcula la media mediante los datos estadísticos de la tabla 38 correspondientes al generador del grupo 1, obteniendo la sumatoria del ln(TO).

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

$$\bar{x} = \frac{104,87}{28}$$

$$\bar{x} = 3,884$$

En la tabla 39 se calcula la varianza, esto se realiza con los valores ya antes obtenidos.

Tabla 39 Datos calculados del generador del Grupo 1

Actividad	Nº de falla	TO (h)	ln (t)	(ln(t)-x)^2
1	1	24	3,18	0,499
2	1	37	3,61	0,075
3	1	46	3,83	0,003
4	1	54	3,99	0,011
5	1	54	3,99	0,011
6	1	56	4,03	0,020
7	1	38	3,64	0,061
8	1	62	4,13	0,059
9	1	57	4,04	0,025
10	1	48	3,87	0,000
11	1	56	4,03	0,020
12	1	55	4,01	0,015
13	1	47	3,85	0,001
14	1	48	3,87	0,000
15	1	49	3,89	0,000
16	1	52	3,95	0,004
17	1	56	4,03	0,020
18	1	58	4,06	0,031
19	1	62	4,13	0,059
20	1	74	4,30	0,176
21	1	80	4,38	0,248
22	1	49	3,89	0,000
23	1	53	3,97	0,007

Actividad	Nº de falla	TO (h)	ln (t)	(ln(t)-x)^2
24	1	20	3,00	0,789
25	1	34	3,53	0,128
26	1	51	3,93	0,002
27	1	43	3,76	0,015
Sumatorias	27	1363	104,87	2,281

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

$$S^2 = \frac{2,281}{(28 - 1)}$$

$$S^2 = 0,0877$$

Ya obtenido el valor de la varianza, se calculará la desviación.

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

$$S = \sqrt{0,0877}$$

$$S = 0,2961$$

A continuación, se calcula los parámetros requeridos en la ecuación de Weibull.

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

$$\beta = \frac{\pi}{0,336\sqrt{6}}$$

$$\beta = 3,817$$

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

$$\alpha = \exp\left(3,841 + \left(\frac{0,5772}{3,817}\right)\right)$$

$$\alpha = 54,163$$

Tabla 40 Parámetros iniciales del Generador Grupo 1

PARÁMETROS		
MEDIA	x	3,88419462
Varianza	S ²	0,0877274
Desviación	S	0,29618811
BETA	β	4,33018673
ALPHA	α	55,56155
GAMA	γ	0

Ya obtenidos los parámetros iniciales, se puede calcular la fiabilidad y la in fiabilidad de Weibull.

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

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{24 - 0}{55,56} \right)^{\frac{1}{4,33}} \right]$$

$$R(t) = 0,439 = 43,88 \%$$

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

$$F(t) = 1 - 0,439$$

$$F(t) = 0,561 = 56,12\%$$

Los parámetros calculados fueron de la fiabilidad e in fiabilidad del primer dato de la tabla 41, tenemos 28 datos por lo cual se utilizó un programa de cálculo (Excel) para calcular los mismos parámetros con los siguientes datos.

Tabla 41 Fiabilidad e Infiabilidad del Generador Grupo 1

Actividad	Nº de falla	TO (h)	ln (t)	(ln(t)-x)^2	R(t)	R(t) %	F(t)	F(t) %
1	1	24	3,18	0,499	0,439	43,88%	0,561	56,12%
2	1	37	3,61	0,075	0,402	40,24%	0,598	59,76%
3	1	46	3,83	0,003	0,384	38,39%	0,616	61,61%
4	1	54	3,99	0,011	0,370	37,03%	0,630	62,97%
5	1	54	3,99	0,011	0,370	37,03%	0,630	62,97%
6	1	56	4,03	0,020	0,367	36,72%	0,633	63,28%
7	1	38	3,64	0,061	0,400	40,01%	0,600	59,99%
8	1	62	4,13	0,059	0,359	35,86%	0,641	64,14%
9	1	57	4,04	0,025	0,366	36,57%	0,634	63,43%
10	1	48	3,87	0,000	0,380	38,03%	0,620	61,97%
11	1	56	4,03	0,020	0,367	36,72%	0,633	63,28%
12	1	55	4,01	0,015	0,369	36,87%	0,631	63,13%
13	1	47	3,85	0,001	0,382	38,21%	0,618	61,79%
14	1	48	3,87	0,000	0,380	38,03%	0,620	61,97%
15	1	49	3,89	0,000	0,379	37,86%	0,621	62,14%
16	1	52	3,95	0,004	0,374	37,35%	0,626	62,65%
17	1	56	4,03	0,020	0,367	36,72%	0,633	63,28%
18	1	58	4,06	0,031	0,364	36,42%	0,636	63,58%
19	1	62	4,13	0,059	0,359	35,86%	0,641	64,14%

Actividad	Nº de falla	TO (h)	ln (t)	(ln(t)-x)^2	R(t)	R(t) %	F(t)	F(t) %
20	1	74	4,30	0,176	0,344	34,36%	0,656	65,64%
21	1	80	4,38	0,248	0,337	33,69%	0,663	66,31%
22	1	49	3,89	0,000	0,379	37,86%	0,621	62,14%
23	1	53	3,97	0,007	0,372	37,19%	0,628	62,81%
24	1	20	3,00	0,789	0,454	45,39%	0,546	54,61%
25	1	34	3,53	0,128	0,410	40,95%	0,590	59,05%
26	1	51	3,93	0,002	0,375	37,52%	0,625	62,48%
27	1	43	3,76	0,015	0,390	38,96%	0,610	61,04%
Sumatorias	27	1363	104,87	2,281				

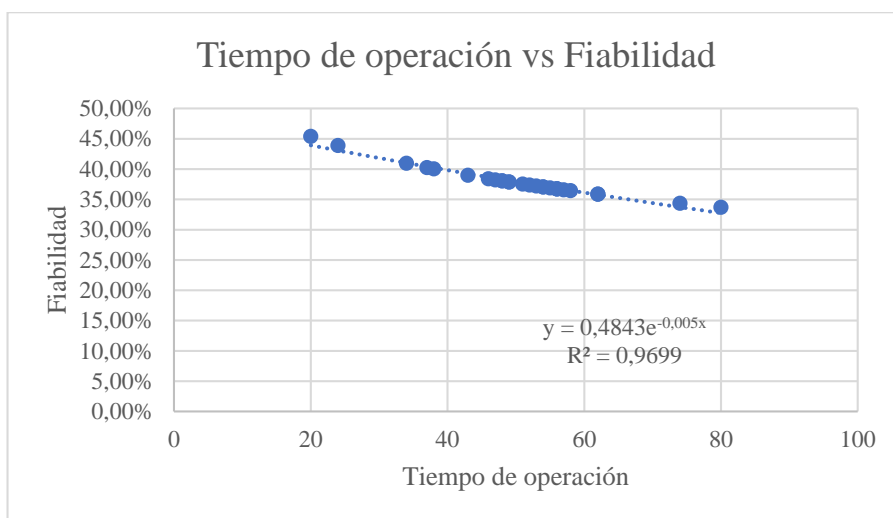


Gráfico. 10 Tiempo de Operación vs Fiabilidad Generador Grupo 1

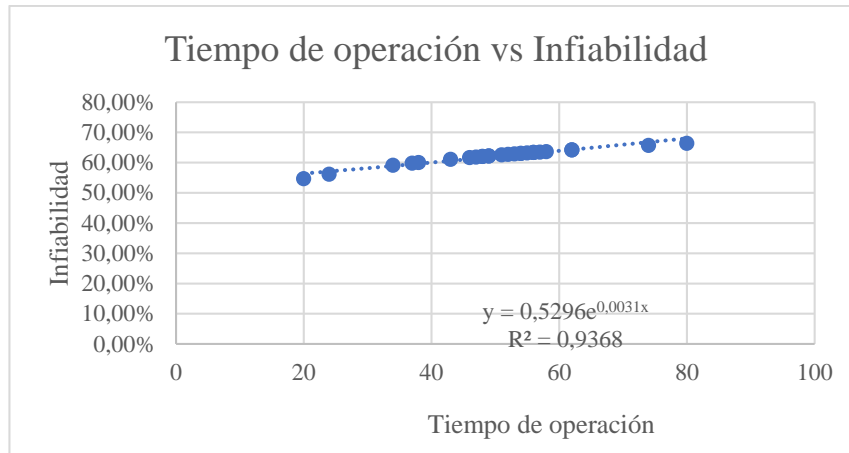


Gráfico. 11 Tiempo de Operación vs Infiabilidad

- ❖ En el gráfico 10 de Tiempo de Operación vs Fiabilidad obtenemos una ecuación exponencial $y = 0,4843e^{-0,005x}$, donde se determina un valor de coeficiente de correlación de $R=0,9699$ cercano a 1 es decir todos los valores están correlacionados entre sí.
- ❖ En el gráfico 11 de Tiempo de Operación vs Infiabilidad se obtuvo una ecuación exponencial $y = 0,5296e^{0,0031x}$, donde se determina un valor de coeficiente de correlación de $R=0,9368$ aproximado a 1 es decir que todos los valores están correlacionados entre sí.
- ❖ El porcentaje máximo de fiabilidad obtenido es 45,39% con un tiempo de operación de 20 horas.
- ❖ El porcentaje máximo de infiabilidad obtenido es 66,31% con un tiempo de operación de 80 horas.

3.7.6. Modelo Gráfico de Weibull del Generador Grupo 1

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

Se realizó la gráfica de los puntos y los parámetros obtenidos, tomando en cuenta que en el eje x se encuentra el tiempo de operación y en el eje y el rango medio en porcentaje.

Tabla 42 Datos del Generador Grupo 1

Actividad	TO (h)	Rango Medio	Porcentaje de falla acumulativa F(i) %
1	24	0,0255	2,55%
2	37	0,0620	6,20%
3	46	0,0985	9,85%
4	54	0,1350	13,50%
5	54	0,1715	17,15%
6	56	0,2080	20,80%
7	38	0,2445	24,45%
8	62	0,2810	28,10%
9	57	0,3175	31,75%
10	48	0,3540	35,40%
11	56	0,3905	39,05%
12	55	0,4270	42,70%
13	47	0,4635	46,35%
14	48	0,5000	50,00%
15	49	0,5365	53,65%
16	52	0,5730	57,30%
17	56	0,6095	60,95%
18	58	0,6460	64,60%
19	62	0,6825	68,25%
20	74	0,7190	71,90%
21	80	0,7555	75,55%
22	49	0,7920	79,20%
23	53	0,8285	82,85%
24	20	0,8650	86,50%
25	34	0,9015	90,15%
26	51	0,9380	93,80%
27	43	0,9745	97,45%

Mediante los puntos de la gráfica en el papel de Weibull se obtiene los datos presentados en la tabla 43.

Tabla 43 Parámetros de falla del Generador grupo 1

Parámetros	Valor
$P\mu$	54,7
β	1,9
n	70

Se realizó el cálculo con los parámetros obtenidos en el papel de Weibull en la fórmula de fiabilidad donde se obtiene:

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

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{24 - 0}{70} \right)^{\frac{1}{1,9}} \right]$$

$$R(t) = 0,8774 = 87,74 \%$$

Tabla 44 Parámetros de método gráfico Weibull generador 1

Actividad	TO (h)	Rango Medio	Porcentaje de falla acumulativa F(i) %	R(t)	R(T) %
1	24	0,0255	2,55%	0,877	87,74%
2	37	0,0620	6,20%	0,742	74,25%
3	46	0,0985	9,85%	0,637	63,74%
4	54	0,1350	13,50%	0,543	54,29%
5	54	0,1715	17,15%	0,543	54,29%
6	56	0,2080	20,80%	0,520	51,97%
7	38	0,2445	24,45%	0,731	73,11%
8	62	0,2810	28,10%	0,452	45,20%
9	57	0,3175	31,75%	0,508	50,82%
10	48	0,3540	35,40%	0,614	61,37%
11	56	0,3905	39,05%	0,520	51,97%
12	55	0,4270	42,70%	0,531	53,13%
13	47	0,4635	46,35%	0,626	62,55%
14	48	0,5000	50,00%	0,614	61,37%
15	49	0,5365	53,65%	0,602	60,18%
16	52	0,5730	57,30%	0,566	56,64%
17	56	0,6095	60,95%	0,520	51,97%
18	58	0,6460	64,60%	0,497	49,68%
19	62	0,6825	68,25%	0,452	45,20%
20	74	0,7190	71,90%	0,329	32,91%
21	80	0,7555	75,55%	0,276	27,56%
22	49	0,7920	79,20%	0,602	60,18%
23	53	0,8285	82,85%	0,555	55,46%
24	20	0,8650	86,50%	0,912	91,16%
25	34	0,9015	90,15%	0,776	77,60%
26	51	0,9380	93,80%	0,578	57,82%
27	43	0,9745	97,45%	0,673	67,29%

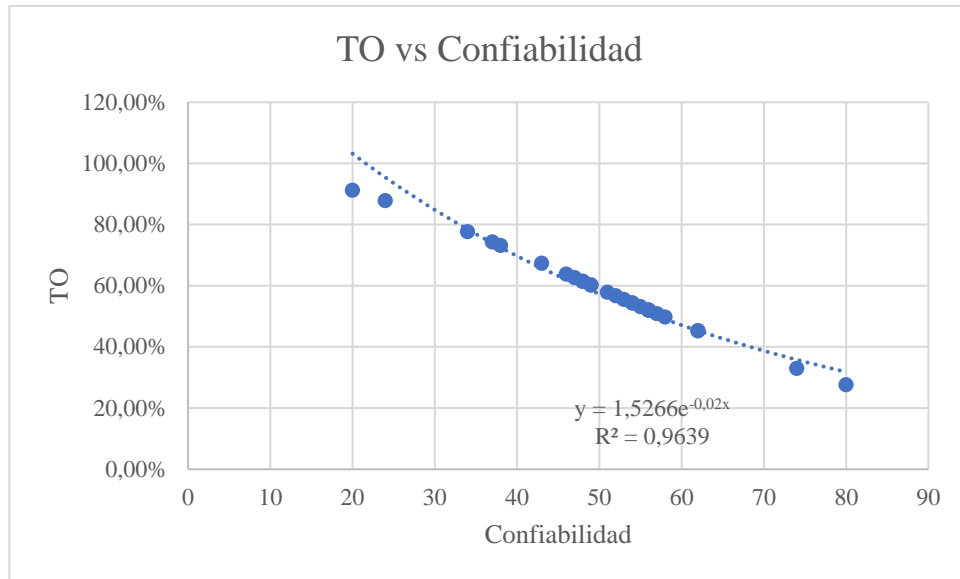


Gráfico. 12 Tiempo de Operación vs Confiabilidad Generador Grupo 1

En el gráfico 12 mediante los datos de Tiempo de Operación vs Confiabilidad tenemos una ecuación exponencial de $y = 1,5266e^{-0,02x}$ con esta ecuación es la más cercana a todos los puntos que se tiene en la gráfica mediante la tabla en el programa de Excel.

El coeficiente de correlación que se obtuvo mediante los datos es de un valor de $R = 0,9639$ este valor es cercano a 1 es decir que los datos tienen correlación entre sí.

El porcentaje de fiabilidad máximo mediante el método gráfico de Weibull es del 91,16% con un tiempo de operación de 20 horas.

3.8.GENERADOR SINCRÓNICO DE CORRIENTE ALTERNA GRUPO 2

Tabla 45 Ficha técnica del generador sincrónico de corriente alterna grupo 2.

	Universidad Técnica de Ambato		
	Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica		
	Carrera de Mecánica		
Ficha de:	Máquina	X	Equipo
GENERADOR SINCRÓNICO DE CORRIENTE ALTERNA			
			
CÓDIGO		EEASA-GG0017	
Características Generales			
Marca:	BELOIT POWER	AMP.:	752/434
PH/HZ/VOLT	3/60/2400/4160	R.P.M.:	900
Serie:	504449-R1	Temperatura:	115°C
Tipo:	TBGZDJ/V-23	Dimensiones:	120*157*150 mm
Componentes			
Motor		Carcasa	
Alternador		Rodamientos	
Estator		Regulador	
Rotor		Panel de control	
Función:	Un generador es una máquina eléctrica rotativa que transformar energía mecánica en energía eléctrica.		
Observaciones:	Generador sincrónico de corriente alterna grupo 1.		

Las características principales del equipo.

Características del Equipo

- Potencia máxima: 1.5 KW
- Potencia Nominal: 2.8 KW
- Amperaje: 752/434
- Revoluciones: 900
- Dimensiones: 1200*1570 mm

Condiciones de servicio

- Temperatura de trabajo: 115 °C
- Tipo de instalación: Horizontal
- Tiempo de funcionamiento: 24 horas normalmente, pero se limita al funcionamiento del motor 8 horas.
- N° de operarios requeridos: 1

Instrucciones de funcionamiento


- Después del calentamiento del turbo
- Sincronismo y conexión en paralelo con red en referencia (Interruptor mecánico)
- Elevación de voltaje a 13.8 KW
- Salida a los alimentadores

Normas de seguridad

- Los generadores deben ser utilizado por personal calificado
- No manipular los componentes internos cuando el generador se encuentre encendido.
- Verificar que los generadores que no exista ninguna alteración antes del encendido del motor.
- Verificar que las conexiones estén en buen estado.
- Utilizar la ropa adecuada, zapatos dieléctricos, guantes, gafas.
- No utilizar cadenas, pulseras, anillos u cualquier otro objeto en el área de trabajo.

3.8.1. Disponibilidad Generador Grupo 2

Tabla 46 Disponibilidad del Generador Grupo 2

EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S.A.							 EEASA Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.				
CENTRAL LLIGUA											
Mes	Actividades	Fecha	TO (h)	TP (h)	TR (h)	TM (h)	$\frac{\Sigma TO}{n}$ TMBF	$\frac{\Sigma TR}{N}$ MTTR	$\lambda = \frac{1}{TMBF}$ λ	$\mu = \frac{1}{MTTR}$ μ	$D = \frac{\Sigma TMBF}{\Sigma TMBF + \Sigma MTTR}$ Disponibilidad
Agosto	Revisión de los devanados	2/8/2021	16	4,5	4	0,5	19	3	0,053	0,333	86,36
	Revisar el panel de control electrónico	19/8/2021	22	4,5	2	2,5					
Septiembre	Limpieza externa del equipo	12/9/2021	14	8	4	4	13,5	4,5	0,07	0,222	75,00
	Comprobar que todos los ductos de aire en el núcleo están libres y no estén bloqueados o tapados.	23/9/2021	13	7	5	2					
Octubre	Verificar el el sistema de tierras del generador	3/10/2021	18	6	5	1	14	4	0,07	0,250	77,78
	Limpieza interior y revisar empaquetaduras	20/10/2021	10	4	3	1					
Noviembre	Comprobar conexiones	14/11/2021	9	5	2	3	12	3	0,08	0,333	80,00

EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S.A.



CENTRAL LLIGUA


Mes	Actividades	Fecha	TO (h)	TP (h)	TR (h)	TM (h)	$\frac{\Sigma TO}{n}$ TMBF	$\frac{\Sigma TR}{N}$ MTTR	$\lambda = \frac{1}{TMBF}$ λ	$\mu = \frac{1}{MTTR}$ μ	$D = \frac{\Sigma TMBF}{\Sigma TMBF + \Sigma MTTR}$ Disponibilidad
	Cambiar y limpiar conductos de ventilación	22/11/2021	15	8	4	4					
Diciembre	Comprobar equilibrio de rotor	11/12/2021	16	4	2	2	15	2,5	0,07	0,400	85,71
	Revisar superficie del colector	18/12/2021	14	4	3	1					
Enero	Comprobar las conexiones del colector	3/1/2022	8	2	1	1	7,5	2	0,13	0,500	78,95
	Comprobar cualquier daño en el laminado o sobrecalentamiento	22/1/2022	7	5	3	2					
Febrero	Revisar lubricación	2/2/2022	10	5	2	3	11,5	1,5	0,09	0,667	88,46
	Observar ruidos anormales y vibraciones	19/2/2022	13	2,5	1	1,5					
Marzo	Comprobar todas las cuñas tensión, comprensión, movimiento y alineación.	25/3/2022	12	4,5	2	2,5	14,5	3,5	0,07	0,286	80,56
	Revisar nivel de lubricación	7/3/2022	17	6	5	1					

EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S.A.



CENTRAL LLIGUA

Mes	Actividades	Fecha	TO (h)	TP (h)	TR (h)	TM (h)	$\frac{\Sigma TO}{n}$ TMBF	$\frac{\Sigma TR}{N}$ MTTR	$\lambda = \frac{1}{TMBF}$ λ	$\mu = \frac{1}{MTTR}$ μ	$D = \frac{\Sigma TMBF}{\Sigma TMBF + \Sigma MTTR}$ Disponibilidad
Abril	Comprobar estado general del equipo	17/4/2022	16	5	3	2	15	3	0,07	0,333	83,33
	Limpieza interior del equipo	27/4/2022	14	7	3	4					
Mayo	Verificar el filtro de aire	8/5/2022	12	6,5	4	2,5	10,5	3,5	0,10	0,286	75,00
	Revisar las conexiones del agua de salida	26/5/2022	9	4	3	1					
Junio	Verificar las mangueras del radiador	8/6/2022	14	5,5	4	1,5	15	3,5	0,07	0,286	81,08
	Realizar pruebas de operación del generador como voltaje y potencia de salida así como su velocidad.	20/6/2022	16	4	3	1					
Julio	Limpiar el ducto de aire del respirador	15/7/2022	13	4	2	2	16,5	3	0,06	0,333	84,62
	Revisión y cambio de los cojinetes	28/7/2022	20	6,5	4	2,5					

EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S.A.										 EEASA Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.	
CENTRAL LLIGUA											
Mes	Actividades	Fecha	TO (h)	TP (h)	TR (h)	TM (h)	$\frac{\Sigma TO}{n}$ TMBF	$\frac{\Sigma TR}{N}$ MTTR	$\lambda = \frac{1}{TMBF}$ λ	$\mu = \frac{1}{MTTR}$ μ	$D = \frac{\Sigma TMBF}{\Sigma TMBF + \Sigma MTTR}$ Disponibilidad
Agosto	Verificar el funcionamiento en conjunto con el operador del equipo	7/8/2022	24	6,5	5	1,5	24,5	5,5	0,04	0,182	81,67
	Comprobar superficie del colector y sus conexiones	25/8/2022	25	8	6	2					
PROMEDIO											81,4

3.8.2. Tiempo de Operación vs Disponibilidad Generador Grupo 2

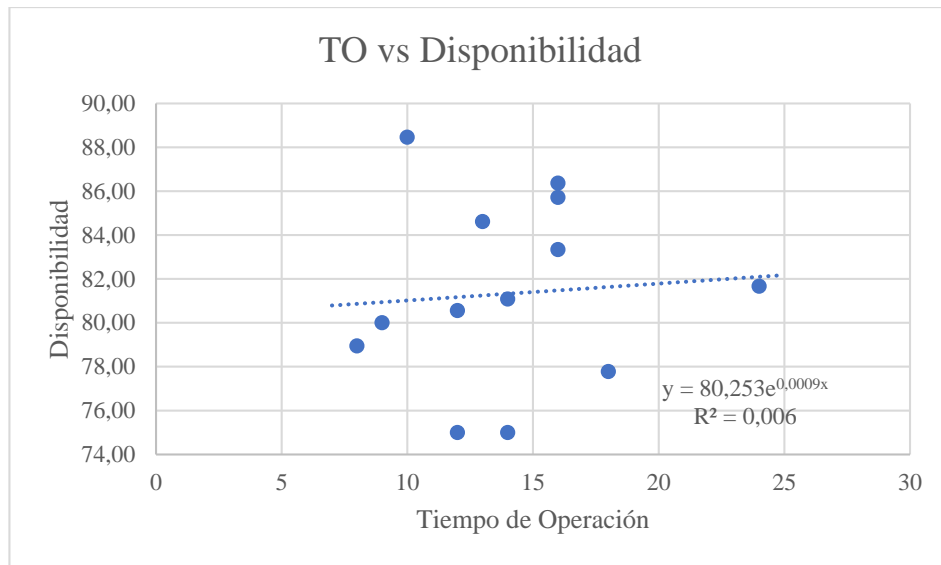



Gráfico. 13 Tiempo de Operación vs Disponibilidad Generador Grupo 2

Mediante el gráfico de Tiempo de Operación vs Disponibilidad del Generador del Grupo 2 se tiene mediante los datos calculado en el programa de Excel la ecuación exponencial de $y = 80,253e^{0,0009x}$, con un coeficiente de correlación obtenido de $R = 0,006$ este valor está lejano a la unidad, es decir que los valores están dispersos en la gráfica o no tienen correlación.

3.8.3. Matriz AMFE Generador Grupo 2

Tabla 47 Matriz AMFE del generador Grupo 2

<h1>Matriz AMFE</h1>							 EEASA Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.				
Área:	Central Lligua		Marca:	BELOIT POWER	Realizado por:	Patricia Roldán		Hoja N.º:	1		
Equipo:	Generador Sincrónico de Corriente Alterna		Modelo:	TBGZDJ/V-23	Revisado por:	Ing. Christian Castro		De:	7		
N.º	Componente	Función	Falla funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IPR	
1	Estator	Contener la parte fija del alternador y es donde se encuentra las bobinas inducidas.	Anomalía en su operación	Desgaste	Contaminación	Parada del proceso	4	5	6	120	Limpieza en el estator
2	Rotor	Realizar los campos magnéticos para poder generar la corriente inducida.	Pernos mal sujetos	Desbalance	Fuerzas centrífugas altas	Daño en el estator	6	7	4	168	Ajuste correcto de los pernos
3	Polos del rotor	Ser el número de juegos de los bobinados electromagnéticos de vías que posee un motor.	Vibraciones laterales	Desgaste	Contaminantes en la superficie	Parada del proceso	4	8	5	160	Limpieza en la superficie
4	Aislamiento	Agregar la confiabilidad, además previene las fallas tempranas y también extiende la vida útil.	Aislamiento Quebradizo	Ruptura	Sobrecalentamiento	Reduce la efectividad	4	6	5	120	Revisar el sistema de refrigeración

Matriz AMFE



EEASA
Empresa Eléctrica Ambato
Regional Centro Norte S.A.

N.º	Componente	Función	Falla funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IPR	
Área:	Central Lligua		Marca:	BELOIT POWER	Realizado por:	Patricia Roldán	Hoja N.º:				2
Equipo :	Generador Sincrónico de Corriente Alterna		Modelo:	TBGZDJ/V-23	Revisado por:	Ing. Christian Castro	De:				7
5	Ventilación	Aspirar el calor que produce el motor y el alternador.	Obstrucción de materiales	Corrosión	Daños físicos	Parada del proceso	6	6	5	180	Limpieza del sistema de ventilación
6	Sistema de escape	Vaciar los gases que están en alta temperatura que son producidos por el motor.	Juntas desoldadas o rotas	Ruptura	Condiciones difíciles	Parada del proceso	5	4	5	100	Revisar el sistema de escape
7	Calentadores anti-condensación	Disminuir el contenido de humedad que contiene el alternador.	Formación de condensación	Condensación	Condiciones deficientes de la fuente de alimentación	Parada del proceso	4	4	5	80	Limpieza de los calentadores
8	Detectores de temperatura	Cuantificar la temperatura por medio de una señal eléctrica determinada.	No marca la temperatura correcta	Desgaste	Tiempo de uso	Parada del proceso	3	6	5	90	Revisar los detectores
9	Rodamientos	Reducir la fricción entre los diferentes elementos móviles que se encuentren.	Desgaste	Contaminantes extraños	Lubricación inadecuada	Parada del proceso	4	7	5	140	Revisar sistema de lubricación

Matriz AMFE



EEASA
Empresa Eléctrica Ambato
Regional Centro Norte S.A.

N.º	Componente	Función	Falla funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IPR	
Área:	Central Lligua		Marca:	BELOIT POWER	Realizado por:	Patricia Roldán	Hoja N.º:				3
Equipo :	Generador Sincrónico de Corriente Alterna		Modelo:	TBGZDJ/V-23	Revisado por:	Ing. Christian Castro	De:				7
10	Excitatriz	Suministrar todas las corriente de excitación a través de las bobinas del estator, en dónde sucede que se genera el campo magnético.	Rotura de excitatriz	Fisura	Sobrecarga	Parada del proceso	5	8	4	160	Mantenimiento de la excitatriz
11	Bobinas del rotor	Crear el campo inductor cuando circulan por ellas las corriente de excitación.	Conexiones dañadas	Desgaste	Mal soporte	Parada del proceso	3	7	6	126	Revisar las conexiones
12	Bobinas del estator	Es un ser electroimán formado por algún número par de polos.	Cables sin recubrimiento	Quemado	Sobrecarga	Parada del proceso	4	5	5	100	Revisar las conexiones frecuentemente
13	Culata	Servir para cerrar el circuito magnético y también para sujetar los polos.	Roces	Deformaciones	Fallo en la refrigeración	Parada del proceso	5	5	6	150	Revisar la refrigeración

Matriz AMFE



EEASA
Empresa Eléctrica Ambato
Regional Centro Norte S.A.

N.º	Componente	Función	Falla funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IPR	
14	Núcleo del inducido	Limitar el flujo magnético que es creado por los devanados inductores.	Corriente insuficiente	Desgaste	Tiempo de uso	Parada del proceso	4	4	5	80	Verificar los elementos antes de su funcionamiento
15	Devanado inducido	Suprimir la reacción de inducido; esto es, el campo magnético que es creado por la corriente que circula por el inducido.	Bloqueo de los devanados	Desgaste	Tiempo de uso	holgura	5	4	4	80	Verificar los elementos antes de su funcionamiento
16	Colector	Trasladar señales o potencia eléctrica de una estructura fija a una móvil.	Contacto malo	Desgaste	Tiempo de uso	Parada del proceso	5	4	4	80	Revisar los elementos
17	Escobillas	Desempeñar la conexión eléctrica entre la parte fija y giratoria que hay dentro de un motor.	Fisura en la escobilla	Desgaste	Sobrecalentamiento	Deterioro del rendimiento	4	5	6	120	Revisar la refrigeración

Matriz AMFE



EEASA
Empresa Eléctrica Ambato
Regional Centro Norte S.A.

N.º	Componente	Función	Falla funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IPR	
18	Regulador de voltaje	Aprovisionar una excitación CC al campo de la excitatriz de un generador para mantener la tensión terminal.	Voltaje de salida distinto	Desgaste	Tiempo de uso	Parada del proceso	4	4	5	80	Verificar los sistemas para el funcionamiento
19	Sistema de enfriamiento y escape	Observar que el generador no se sobrecaliente, este es mayormente utilizado como vía al exterior.	Taponamiento del sistema	Sobrecalentamiento	Altas temperaturas	Parada del proceso	3	7	6	126	Revisar los sistemas de enfriamiento y escape
20	Recolector	Efectuar la conversión de corriente alterna hacia la corriente continua.	No se realiza la conversión de corriente	Desgaste	Daños físicos	Parada del proceso	3	4	5	60	Revisar el sistema
21	Alternador	Cambiar la energía mecánica en energía eléctrica.	Bobina Oxidada	Contaminación	Bobinado sucio	Parada del proceso	4	6	5	120	Mantenimiento de los componentes

Matriz AMFE



EEASA
Empresa Eléctrica Ambato
Regional Centro Norte S.A.

N.º	Componente	Función	Falla funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IPR	
Área:	Central Lligua		Marca:	BELOIT POWER	Realizado por:	Patricia Roldán	Hoja N.º:				6
Equipo :	Generador Sincrónico de Corriente Alterna		Modelo:	TBGZDJ/V-23	Revisado por:	Ing. Christian Castro	De:				7
22	Panel de control	Controlar, monitorear y diagnosticar su grupo electrógeno con facilidad.	Cables con revestimiento sin recubrimiento	Desgaste	Falta de revisión	Parada del proceso	5	6	5	150	Revisar que el panel se encuentre en óptimas condiciones de funcionamiento
23	Filtros de aire	Asegurar que aquel aire que llega a los cilindros que sirve para mezclarse con el combustible este completamente limpio y libre de cualquier impureza.	Filtro sucio	Desgaste	Impurezas en el filtro	Parada del proceso	5	6	3	90	Cambio de filtros
24	Sistema de lubricación	Repartir el aceite por todas las partes móviles con la función de lubricarlas.	Aire en el lubricante	Calentamiento del aceite	Filtración inadecuada	Parada del proceso	6	6	5	180	Verificar el sistema de lubricación y revisar

Matriz AMFE



EEASA
Empresa Eléctrica Ambato
Regional Centro Norte S.A.

N.º	Componente	Función	Falla funcional	Modo de fallo	Causa raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
							F	G	D	IPR	
Área:	Central Lligua		Marca:	BELOIT POWER	Realizado por:	Patricia Roldán	Hoja N.º:				7
Equipo :	Generador Sincrónico de Corriente Alterna		Modelo:	TBGZDJ/V-23	Revisado por:	Ing. Christian Castro	De:				7
25	Carcasa	Complementar el circuito magnético entre los polos y procede como un soporte mecánico para las partes del generador.	Daños físicos	Corrosión	Acumulación de partículas	Parada del proceso	4	5	5	100	Revisar la parte externa y sus condiciones
26	Soporte	Producir instalaciones más elásticas. Evitando así las vibraciones.	Fisura	Desgaste	Condiciones físicas	Parada del proceso	4	6	5	120	Verificar el soporte frecuentemente
27	Bobinado de campo	Causar la alta tensión, con la cual se va a producir alimentar a la bujía en motores de combustión.	Agotamiento de rebobinado	Desgaste	Sobrecarga	Parada del proceso	3	7	5	105	Cambiar las bobinas

3.8.4. Criticidad del Generador Grupo 2

Tabla 48 Parámetros de Criticidad Generador Grupo 2


EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S.A.		 EEASA Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.	
CENTRAL LLIGUA			
CRITICIDAD GENERADOR GRUPO 2			
FACTORES	MALO	REGULAR	BUENO
Estado del estator	1	-	-
Estado del eje del rotor	-	1	-
Estado de los polos del rotor	1	-	-
Estado del aislamiento	1	-	-
Estado de la ventilación	1	-	-
Estado del sistema de escape	1	-	-
Estado del aislamiento del pedestal	-	1	-
Estado de los calentadores anti condensación	1	-	-
Estado de los detectores de temperatura	-	1	-
Estado de los rodamientos	1	-	-
Estado de la excitatriz	1	-	-
Estado de las bobinas del rotor	1	-	-
Estado de las bobinas del estator	-	1	-
Estado de la culata	-	1	-
Estado del núcleo del inducido	1	-	-
Estado del devanado inducido	1	-	-
Estado del colector	1	-	-
Estado de las escobillas	1	-	-
Estado del regulador de voltaje	-	1	-
Estado del sistema de enfriamiento y escape	1	-	-
Estado del recolector	1	-	-
Estado del alternador	1	-	-
Estado del panel de control	-	1	-
Estado de los filtros de aire	-	1	-
Estado del sistema de lubricación	1	-	-
Estado de la carcasa	1	-	-
Estado del soporte	-	1	-
Estado del bobinado de campo	-	1	-

Tabla 49 Parámetros de Criticidad Generador Grupo 2

Nº	COMPONENTE	FRECUENCIA DE FALLA	IMPACTO OPERACIONAL	FLEXIBILIDAD	COSTOS DE MANTT	IMPACTO EN SAH	CONSECUENCIA	CRITICIDAD	ID
1	Estator	3	6	4	1	7	32	96	
2	Rotor	2	8	3	2	8	34	68	
3	Polos del rotor	2	7	4	2	4	34	68	
4	Aislamiento	4	4	3	2	7	21	84	
5	Ventilación	3	8	2	2	8	26	78	
6	Sistema de escape	2	7	4	1	5	34	68	
7	Calentadores anti-condensación	2	5	3	2	7	24	48	
8	Detectores de temperatura	2	4	3	1	8	21	42	
9	Rodamientos	4	4	2	2	6	16	64	
10	Excitatriz	3	5	4	1	5	26	78	
11	Bobinas del rotor	2	6	4	2	8	34	68	
12	Bobinas del estator	3	7	2	1	7	22	66	
13	Culata	2	8	4	2	6	40	80	
14	Núcleo del inducido	2	6	3	2	7	27	54	
15	Devanado inducido	3	6	2	2	6	20	60	
16	Colector	2	8	1	1	8	17	34	
17	Escobillas	3	5	4	2	7	29	87	
18	Regulador de voltaje	2	7	1	1	5	13	26	

Nº	COMPONENTE	FRECUENCIA DE FALLA	IMPACTO OPERACIONAL	FLEXIBILIDAD	COSTOS DE MANTT	IMPACTO EN SAH	CONSECUENCIA	CRITICIDAD	ID
19	Sistema de enfriamiento y escape	4	6	2	1	6	19	76	
20	Recolector	3	6	1	1	5	12	36	
21	Alternador	3	6	3	2	7	27	81	
22	Panel de control	3	8	2	2	5	23	69	
23	Filtros de aire	2	7	2	2	6	22	44	
24	Sistema de lubricación	3	7	2	1	8	23	69	
25	Carcasa	4	5	2	2	7	19	76	
26	Soporte	3	6	3	2	6	26	78	
27	Bobinado de campo	3	5	4	2	4	26	78	
TOTAL (PROMEDIO)								65,78	

3.8.5. Modelo Matemático de Weibull del Generador del Grupo 2

Tabla 50 Modelo matemático Weibull del Generador Grupo 2

Actividad	Nº de falla	TO (h)	ln (t)
1	1	36	3,58
2	1	24	3,18
3	1	54	3,99
4	1	38	3,64
5	1	39	3,66
6	1	55	4,01
7	1	40	3,69
8	1	60	4,09
9	1	58	4,06
10	1	46	3,83
11	1	54	3,99
12	1	52	3,95
13	1	50	3,91
14	1	62	4,13
15	1	59	4,08
16	1	48	3,87
17	1	48	3,87
18	1	55	4,01
19	1	60	4,09
20	1	70	4,25
21	1	64	4,16
22	1	50	3,91
23	1	64	4,16
24	1	20	3,00
25	1	36	3,58
26	1	52	3,95
27	1	42	3,74
Sumatorias	27	1336	104,38

Se calcula la media mediante los datos estadísticos de la tabla 49 correspondientes al generador del grupo 2, obteniendo la sumatoria del ln(TO).

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

$$\bar{x} = \frac{104,38}{28}$$

$$\bar{x} = 3,865$$

En la tabla 50 se calcula la varianza, esto se realiza con los valores ya antes obtenidos.

Tabla 51 Datos calculados del Generador Grupo 2

Actividad	Nº de falla	TO (h)	ln (t)	(ln(t)-x)^2
1	1	36	3,58	0,080
2	1	24	3,18	0,473
3	1	54	3,99	0,015
4	1	38	3,64	0,052
5	1	39	3,66	0,041
6	1	55	4,01	0,020
7	1	40	3,69	0,031
8	1	60	4,09	0,052
9	1	58	4,06	0,038
10	1	46	3,83	0,001
11	1	54	3,99	0,015
12	1	52	3,95	0,007
13	1	50	3,91	0,002
14	1	62	4,13	0,068
15	1	59	4,08	0,045
16	1	48	3,87	0,000
17	1	48	3,87	0,000
18	1	55	4,01	0,020
19	1	60	4,09	0,052
20	1	70	4,25	0,146
21	1	64	4,16	0,086
22	1	50	3,91	0,002
23	1	64	4,16	0,086
24	1	20	3,00	0,757
25	1	36	3,58	0,080

Actividad	Nº de falla	TO (h)	ln (t)	(ln(t)-x)^2
26	1	52	3,95	0,007
27	1	42	3,74	0,016
Sumatorias	27	1336	104,38	2,195

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

$$S^2 = \frac{2,195}{(28 - 1)}$$

$$S^2 = 0,0844$$

Ya obtenido el valor de la varianza, se calculará la desviación.

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

$$S = \sqrt{0,0877}$$

$$S = 0,2905$$

A continuación, se calcula los parámetros requeridos en la ecuación de Weibull.

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

$$\beta = \frac{\pi}{0,2905\sqrt{6}}$$

$$\beta = 4,4145$$

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

$$\alpha = \exp\left(3,865 + \left(\frac{0,5772}{4,4145}\right)\right)$$

$$\alpha = 54,414$$

Tabla 52 Parámetros iniciales del Generador Grupo 2

MEDIA	x	3,86588139
Varianza	S^2	0,08440515

Desviación	S	0,29052564
BETA	β	4,41458398
ALPHA	α	54,4144552
GAMA	γ	0

Ya obtenidos los parámetros iniciales, se puede calcular la fiabilidad y la in fiabilidad de Weibull.

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

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{36 - 0}{54,41} \right)^{\frac{1}{4,41}} \right]$$

$$R(t) = 0,402 = 40,23 \%$$

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

$$F(t) = 1 - 0,402$$

$$F(t) = 0,598 = 59,77\%$$

Los parámetros calculados fueron de la fiabilidad e in fiabilidad del primer dato de la tabla 53, tenemos 28 datos por lo cual se utilizó un programa de cálculo (Excel) para calcular los mismos parámetros con lo demás datos.

Tabla 53 Fiabilidad e Infiabilidad del Generador Grupo 2

Actividad	Nº de falla	TO (h)	ln (t)	(ln(t)-x)^2	R(t)	R(t) %	F(t)	F(t) %
1	1	36	3,58	0,080	0,402	40,23%	0,598	59,77%
2	1	24	3,18	0,473	0,436	43,57%	0,564	56,43%
3	1	54	3,99	0,015	0,369	36,85%	0,631	63,15%
4	1	38	3,64	0,052	0,398	39,78%	0,602	60,22%
5	1	39	3,66	0,041	0,396	39,56%	0,604	60,44%
6	1	55	4,01	0,020	0,367	36,70%	0,633	63,30%
7	1	40	3,69	0,031	0,394	39,35%	0,606	60,65%
8	1	60	4,09	0,052	0,360	35,97%	0,640	64,03%
9	1	58	4,06	0,038	0,363	36,26%	0,637	63,74%
10	1	46	3,83	0,001	0,382	38,19%	0,618	61,81%

Actividad	Nº de falla	TO (h)	ln (t)	(ln(t)-x)^2	R(t)	R(t) %	F(t)	F(t) %
11	1	54	3,99	0,015	0,369	36,85%	0,631	63,15%
12	1	52	3,95	0,007	0,372	37,17%	0,628	62,83%
13	1	50	3,91	0,002	0,375	37,49%	0,625	62,51%
14	1	62	4,13	0,068	0,357	35,70%	0,643	64,30%
15	1	59	4,08	0,045	0,361	36,11%	0,639	63,89%
16	1	48	3,87	0,000	0,378	37,83%	0,622	62,17%
17	1	48	3,87	0,000	0,378	37,83%	0,622	62,17%
18	1	55	4,01	0,020	0,367	36,70%	0,633	63,30%
19	1	60	4,09	0,052	0,360	35,97%	0,640	64,03%
20	1	70	4,25	0,146	0,347	34,69%	0,653	65,31%
21	1	64	4,16	0,086	0,354	35,44%	0,646	64,56%
22	1	50	3,91	0,002	0,375	37,49%	0,625	62,51%
23	1	64	4,16	0,086	0,354	35,44%	0,646	64,56%
24	1	20	3,00	0,757	0,451	45,06%	0,549	54,94%
25	1	36	3,58	0,080	0,402	40,23%	0,598	59,77%
26	1	52	3,95	0,007	0,372	37,17%	0,628	62,83%
27	1	42	3,74	0,016	0,389	38,94%	0,611	61,06%
Sumatorias	27	1336	104,38	2,195				

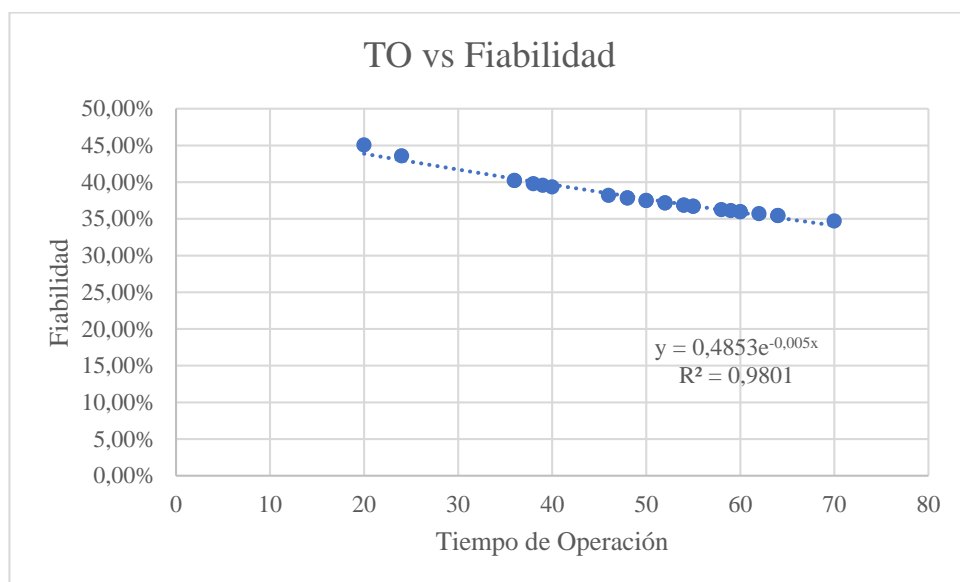


Gráfico. 14 Tiempo de Operación vs Fiabilidad Generador Grupo 2

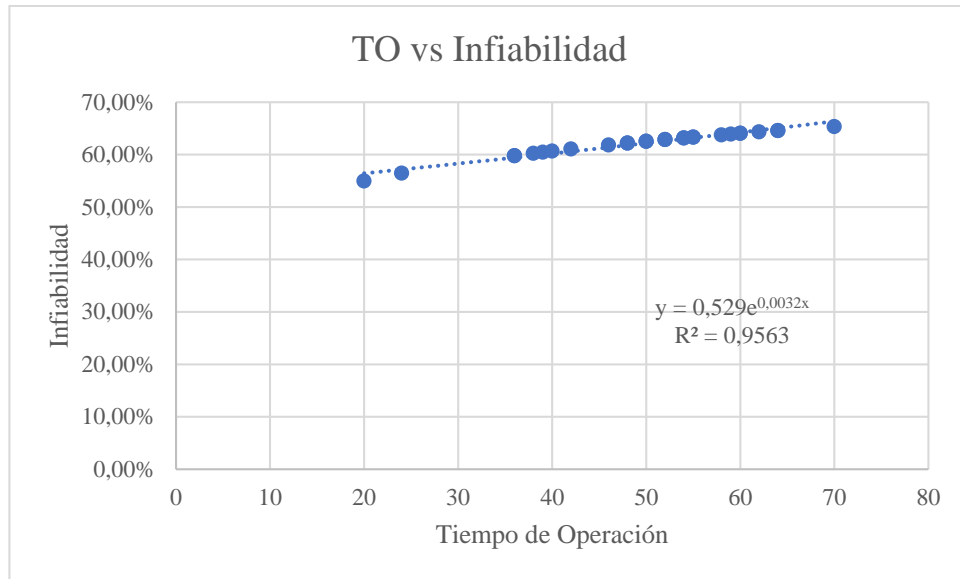


Gráfico. 15 Tiempo de Operación vs Infiabilidad Generador Grupo 2

- ❖ En el gráfico 14 de Tiempo de Operación vs Fiabilidad obtenemos una ecuación exponencial $y = 0,4853e^{-0,005x}$, donde se determina un valor de coeficiente de correlación de $R=0,9801$ cercano a 1 es decir todos los valores están correlacionados entre sí.
- ❖ En el gráfico 15 de Tiempo de Operación vs Infiabilidad se obtuvo una ecuación exponencial $y = 0,5296e^{0,0032x}$, donde se determina un valor de coeficiente de correlación de $R=0,9563$ aproximado a 1 es decir que todos los valores están correlacionados entre sí.
- ❖ El porcentaje máximo de fiabilidad obtenido es 45,06% con un tiempo de operación de 20 horas.
- ❖ El porcentaje máximo de infiabilidad obtenido es 65,31% con un tiempo de operación de 70 horas.

3.8.6. Modelo Grafico de Weibull del Generador Grupo 2

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

Se grafica los puntos y los parámetros obtenidos, tomando en cuenta que en el eje x se encuentra el tiempo de operación y en el eje y el rango medio en porcentaje.

Tabla 54 Datos método gráfico Weibull Generador Grupo 2

Actividad	TO (h)	Rango Medio	Porcentaje de falla acumulativa F(i) %
1	36	0,0255	2,55%
2	24	0,0620	6,20%
3	54	0,0985	9,85%
4	38	0,1350	13,50%
5	39	0,1715	17,15%
6	55	0,2080	20,80%
7	40	0,2445	24,45%
8	60	0,2810	28,10%
9	58	0,3175	31,75%
10	46	0,3540	35,40%
11	54	0,3905	39,05%
12	52	0,4270	42,70%
13	50	0,4635	46,35%
14	62	0,5000	50,00%
15	59	0,5365	53,65%
16	48	0,5730	57,30%
17	48	0,6095	60,95%
18	55	0,6460	64,60%
19	60	0,6825	68,25%
20	70	0,7190	71,90%
21	64	0,7555	75,55%
22	50	0,7920	79,20%
23	64	0,8285	82,85%
24	20	0,8650	86,50%
25	36	0,9015	90,15%
26	52	0,9380	93,80%
27	42	0,9745	97,45%

Mediante los puntos de la gráfica en el papel de Weibull se obtiene los datos presentados en la tabla 55.

Tabla 55 Parámetros de falla del Generador grupo 2

Parámetros	Valor
$P\mu$	53,5
β	2,15
n	83

Se realizó el cálculo con los parámetros obtenidos en el papel de Weibull en la fórmula de fiabilidad donde se obtiene:

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

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{36 - 0}{85} \right)^{\frac{1}{2,15}} \right]$$

$$R(t) = 0,8471 = 84,71 \%$$

Tabla 56 Confiabilidad del Generador Grupo 2.

Actividad	TO (h)	Rango Medio	Porcentaje de falla acumulativa F(i) %	R(t)	R(T) %
1	36	0,0255	2,55%	0,847	84,71%
2	24	0,0620	6,20%	0,933	93,29%
3	54	0,0985	9,85%	0,672	67,24%
4	38	0,1350	13,50%	0,830	82,99%
5	39	0,1715	17,15%	0,821	82,11%
6	55	0,2080	20,80%	0,662	66,18%
7	40	0,2445	24,45%	0,812	81,21%
8	60	0,2810	28,10%	0,608	60,79%
9	58	0,3175	31,75%	0,630	62,95%
10	46	0,3540	35,40%	0,755	75,49%
11	54	0,3905	39,05%	0,672	67,24%
12	52	0,4270	42,70%	0,694	69,36%
13	50	0,4635	46,35%	0,714	71,44%
14	62	0,5000	50,00%	0,586	58,62%
15	59	0,5365	53,65%	0,619	61,87%
16	48	0,5730	57,30%	0,735	73,49%
17	48	0,6095	60,95%	0,735	73,49%
18	55	0,6460	64,60%	0,662	66,18%
19	60	0,6825	68,25%	0,608	60,79%
20	70	0,7190	71,90%	0,500	49,99%
21	64	0,7555	75,55%	0,564	56,45%
22	50	0,7920	79,20%	0,714	71,44%
23	64	0,8285	82,85%	0,564	56,45%
24	20	0,8650	86,50%	0,954	95,42%
25	36	0,9015	90,15%	0,847	84,71%
26	52	0,9380	93,80%	0,694	69,36%
27	42	0,9745	97,45%	0,794	79,36%

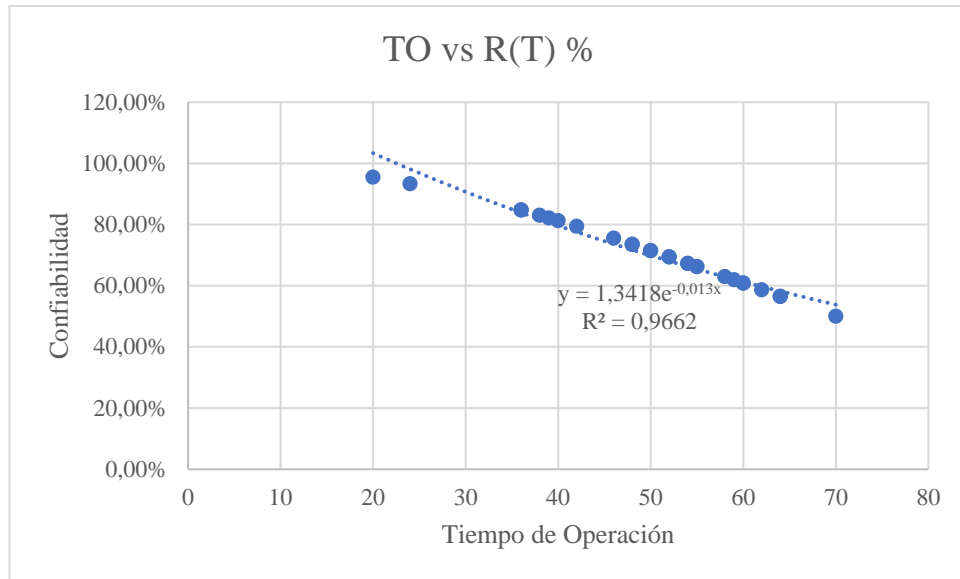


Gráfico. 16 Tiempo de Operación vs Confiabilidad Generador Grupo 2

En el gráfico 16 mediante los datos de Tiempo de Operación vs Confiabilidad tenemos una ecuación exponencial de $y = 1,3418e^{-0,013x}$ con esta ecuación es la más cercana a todos los puntos que se tiene en la gráfica mediante la tabla en el programa de Excel.

El coeficiente de correlación que se obtuvo mediante los datos es de un valor de $R = 0,9662$ este valor es cercano a 1 es decir que los datos tienen correlación entre sí.

El porcentaje de fiabilidad máximo mediante el método gráfico de Weibull es del 95,42% con un tiempo de operación de 20 horas.

3.9. Modelos Estadísticos

3.9.1. Modelo Estadístico Motor Grupo 1

Tabla 57 Promedios Estadísticos del Motor Grupo 1

COMPONENTE	CRITICIDAD	Componente	IPR	Disponibilidad
Pistones	63	Pistones	108	67,5
Cigüeñal	62	Cigüeñal	128	64,3
Culata	72	Culata	120	66,7
Cilindros	68	Cilindros	120	60,7
Transmisión	76	Transmisión	108	68
Suspensión	66	Suspensión	105	67,8
Bomba de combustible	68	Bomba de combustible	120	64,5
Filtro de aire	72	Filtro de aire	125	66,7
Filtro de combustible	96	Filtro de combustible	150	65,1
Carburador	69	Carburador	100	67,4
Inyectores	63	Inyectores	120	67,4
Bomba de aceite lubricante	66	Bomba de aceite lubricante	150	64,5
Válvula de arranque de aire	64	Válvula de arranque de aire	120	64,5
Bomba de agua	84	Bomba de agua	108	65,8
Filtros de aceite	78	Filtros de aceite	120	
Bancada	66	Bancada	100	
Cojinetes principales	66	Cojinetes principales	150	
Cojinetes secundarios	81	Cojinetes secundarios	120	
Camisas del cilindro	75	Camisas del cilindro	150	
	71,32		122,210526	

$$\frac{122,210 - 71,32}{122,210} = 0,41645134$$

$$0,41645134 * 100$$

41,64%

3.9.2. Comprobación de la Hipótesis Motor Grupo 1

Tabla 58 Tabla cruzada Criticidad * IPR Motor grupo 1

Tabla cruzada CRITICIDAD*IPR				
Recuento				
		IPR		Total
		RIESGO PROMINENTE	RIESGO NO PRIORITARIO	
CRITICIDAD	REQUIERE TRATAMIENTO	17	2	19
	NO REQUIERE TRATAMIENTO	0	9	9
Total		17	11	28

Tabla 59 Pruebas Chi-cuadrado Motor Grupo 1

Pruebas de chi-cuadrado					
	Valor	df	Significación asintótica (bilateral)	Significación exacta (bilateral)	Significación exacta (unilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	20,498 ^a	1	,000		
Corrección de continuidad ^b	16,918	1	,000		
Razón de verosimilitud	24,734	1	,000		
Prueba exacta de Fisher				,000	,000
Asociación lineal por lineal	19,766	1	,000		
N de casos válidos	28				
a. 1 casillas (25,0%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es 3,54.					
b. Sólo se ha calculado para una tabla 2x2					

INTERPRETACIÓN

En la relación realizada entre criticidad y el IPR se ha obteniendo el valor de sig. (valor crítico observado) $0.000 > 0.05$ rechazando la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alternativa, es decir que los fallos y modos de fallos de los generadores térmicos de la central térmica de la EEASA, afectan a la disponibilidad de los generadores térmicos.

3.9.3. Modelo Estadístico Motor Grupo 2

Tabla 60 Promedios Estadísticos del Motor Grupo 2

COMPONENTE	CRITICIDAD	Componente	IPR	Disponibilidad
Pistones	84	Pistones	120	71,8
Bloque del motor	78	Bloque del motor	144	67,5
Cárter	69	Cárter	112	71,9
Culata	75	Culata	120	53,8
Cilindros	81	Cilindros	140	68,5
Árbol de levas	63	Árbol de levas	140	67,2
Transmisión	62	Transmisión	120	62,9
Bomba de combustible	66	Bomba de combustible	120	69,8
Bielas	58	Bielas	144	69,8
Filtro de aire	84	Filtro de aire	100	65,9
Filtro de combustible	75	Filtro de combustible	144	67,4
Carburador	87	Carburador	125	59,3
Bomba de aceite lubricante	63	Bomba de aceite lubricante	120	63,0
Bomba de agua	68	Bomba de agua	108	66,0
Filtros de aceite	63	Filtros de aceite	120	
Válvula reguladora de aceite lubricante	72	Válvula reguladora de aceite lubricante	100	
Bancada	63	Bancada	100	
Cojinetes principales	63	Cojinetes principales	120	
Cojinetes secundarios	63	Cojinetes secundarios	100	
Camisas del cilindro	76	Camisas del cilindro	120	
	70,65		120,85	

$$\frac{120,85 - 70,65}{120,85} = 0,41645134$$

$$0,41645134 * 100$$

41,64%

3.9.4. Comprobación de la Hipótesis Motor Grupo 2

Tabla 61 Tabla cruzada Criticidad * IPR Motor Grupo 2

Tabla cruzada CRITICIDAD*IPR					
			IPR		Total
			RIESGO PROMINENTE	RIESGO NO PRIORITARIO	
CRITICIDAD	REQUIERE TRATAMIENTO	Recuento	15	1	16
		% dentro de IPR	78,9%	11,1%	57,1%
	NO REQUIERE TRATAMIENTO	Recuento	4	8	12
		% dentro de IPR	21,1%	88,9%	42,9%
Total		Recuento	19	9	28
		% dentro de IPR	100,0%	100,0%	100,0%

Tabla 62 Pruebas Chi-cuadrado Motor Grupo 2

Pruebas de chi-cuadrado					
	Valor	df	Significación asintótica (bilateral)	Significación exacta (bilateral)	Significación exacta (unilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	11,476 ^a	1	,001		
Corrección de continuidad ^b	8,873	1	,003		
Razón de verosimilitud	12,407	1	,000		
Prueba exacta de Fisher				,001	,001
Asociación lineal por lineal	11,066	1	,001		
N de casos válidos	28				
a. 1 casillas (25,0%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es 3,86.					
b. Sólo se ha calculado para una tabla 2x2					

INTERPRETACIÓN

En la relación realizada entre criticidad y el IPR se ha obteniendo el valor de sig. (valor crítico observado) $0.001 > 0.05$ rechazando la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alternativa, es decir que los fallos y modos de fallos de los generadores térmicos de la central térmica de la EEASA, afectan a la disponibilidad de los generadores térmicos.

3.9.5. Modelo Estadístico Generador Grupo 1

Tabla 63 Promedios Estadísticos del Generador Grupo 1

COMPONENTE	CRITICIDAD	Componente	IPR	Disponibilidad
Estator	68	Estator	150	76,744
Rotor	69	Rotor	160	75,0
Polos del rotor	78	Polos del rotor	128	72,2
Sistema de escape	69	Sistema de escape	100	69,0
Rodamientos	69	Rodamientos	140	76
Bobinas del rotor	78	Bobinas del rotor	180	65,2
Culata	81	Culata	120	79,3
Núcleo del inducido	93	Núcleo del inducido	120	73,3
Devanado inducido	76	Devanado inducido	140	85,7
Sistema de enfriamiento y escape	72	Sistema de enfriamiento y escape	150	75,0
Recolector	80	Recolector	120	73,1
Alternador	87	Alternador	100	88,0
Panel de control	96	Panel de control	120	72,5
Filtros de aire	87	Filtros de aire	120	75,5
Sistema de lubricación	78	Sistema de lubricación	150	
Carcasa	84	Carcasa	120	
Soporte	72	Soporte	150	
Bobinado de campo	69	Bobinado de campo	120	
	78,11		132,66	

$$\frac{132,66 - 78,11}{132,66} = 0,41122278$$

$$0,41122278 * 100$$

41,12%

3.9.6. Comprobación de la Hipótesis Generador Grupo 1

Tabla 64 Tabla cruzada Criticidad * IPR Generador Grupo 1

Tabla cruzada CRITICIDAD*IPR					
			IPR		Total
			RIESGO PROMINENTE	RIESGO NO PRIORITARIO	
CRITICIDAD	REQUIERE TRATAMIENTO	Recuento	14	4	18
		% dentro de IPR	93,3%	33,3%	66,7%
	NO REQUIERE TRATAMIENTO	Recuento	1	8	9
		% dentro de IPR	6,7%	66,7%	33,3%
Total		Recuento	15	12	27
		% dentro de IPR	100,0%	100,0%	100,0%

Tabla 65 Pruebas Chi-cuadrado Generador Grupo 1

Pruebas de chi-cuadrado					
	Valor	df	Significación asintótica (bilateral)	Significación exacta (bilateral)	Significación exacta (unilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	10,800 ^a	1	,001		
Corrección de continuidad ^b	8,269	1	,004		
Razón de verosimilitud	11,748	1	,001		
Prueba exacta de Fisher				,003	,002
Asociación lineal por lineal	10,400	1	,001		
N de casos válidos	27				
a. 1 casillas (25,0%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es 4,00.					
b. Sólo se ha calculado para una tabla 2x2					

INTERPRETACIÓN

En la relación se obtuvo que entre criticidad y el IPR en el generador 1 se ha obteniendo el valor de sig. (valor crítico observado) $0.001 > 0.05$ rechazando la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alternativa, es decir que los fallos y modos de fallos de los generadores térmicos de la central térmica de la EEASA, afectan a la disponibilidad de los generadores térmicos.

3.9.7. Modelo Estadístico Generador Grupo 2

Tabla 66 Promedios Estadísticos del Generador Grupo 2

COMPONENTE	CRITICIDAD	Componente	IPR	Disponibilidad
Estator	96	Estator	120	86,36
Rotor	68	Rotor	168	75,00
Polos del rotor	68	Polos del rotor	160	77,78
Aislamiento	84	Aislamiento	120	80,00
Ventilación	78	Ventilación	180	85,71
Sistema de escape	68	Sistema de escape	100	78,95
Rodamientos	64	Rodamientos	140	88,46
Excitatriz	78	Excitatriz	160	80,56
Bobinas del rotor	68	Bobinas del rotor	126	83,33
Bobinas del estator	66	Bobinas del estator	100	75,00
Culata	80	Culata	150	81,08
Escobillas	87	Escobillas	120	84,62
Sistema de enfriamiento y escape	76	Sistema de enfriamiento y escape	126	81,67
Alternador	81	Alternador	120	81,4
Panel de control	69	Panel de control	150	
Sistema de lubricación	69	Sistema de lubricación	180	
Carcasa	76	Carcasa	100	
Soporte	78	Soporte	120	
Bobinado de campo	78	Bobinado de campo	105	
	75,37		133,94	

$$\frac{133,94 - 75,37}{133,94} = 0,43732809$$

$$0,43732809 * 100$$

43,73%

3.9.8. Comprobación de la Hipótesis Generador Grupo 2

Tabla 67 Tabla cruzada Criticidad * IPR Generador Grupo 2

Tabla cruzada CRITICIDAD*IPR					
			IPR		Total
			RIESGO PROMINENTE	RIESGO NO PRIORITARIO	
CRITICIDAD	REQUIERE TRATAMIENTO	Recuento	16	3	19
		% dentro de IPR	100,0%	27,3%	70,4%
	NO REQUIERE TRATAMIENTO	Recuento	0	8	8
		% dentro de IPR	0,0%	72,7%	29,6%
Total		Recuento	16	11	27
		% dentro de IPR	100,0%	100,0%	100,0%

Tabla 68 Pruebas de chi-cuadrado Generador Grupo 2

Pruebas de chi-cuadrado					
	Valor	df	Significación asintótica (bilateral)	Significación exacta (bilateral)	Significación exacta (unilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	16,536 ^a	1	,000		
Corrección de continuidad ^b	13,232	1	,000		
Razón de verosimilitud	19,924	1	,000		
Prueba exacta de Fisher				,000	,000
Asociación lineal por lineal	15,923	1	,000		
N de casos válidos	27				
a. 2 casillas (50,0%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es 3,26.					
b. Sólo se ha calculado para una tabla 2x2					

INTERPRETACIÓN

En la relación que se realizó entre criticidad y el IPR en el generador 2 se ha obteniendo el valor de sig. (valor crítico observado) $0,001 > 0,05$ rechazando la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alternativa, es decir que los fallos y modos de fallos de los generadores térmicos de la central térmica de la EEASA, afectan a la disponibilidad de los generadores térmicos.

3.10. Costos

El motor Alco está instalado en la central térmica Lligua desde el año 1972 por lo que es muy difícil encontrar repuestos para estos motores, lo que se debería realizar la fabricación de estas mismas piezas estructurales y que sean posible, esto implicará un costo elevado, a continuación, en la tabla 69 detallamos algunos de los repuestos con cada uno de sus valores por unidad.

Tabla 69 Lista de repuestos de los motores Alco [21]

Descripción	Unidad	Valor total (USD)
Juego de juntas 18 CYL 25010630	1	2.127
Junta de Kit PWR CYL 2501067	1	115
Cojinetes de agujas 2152853	1	49
Rodamiento 2151791	1	28
Tuerca 2151395	1	28
Equipo de Nylon	1	700
Junta 21522636	1	3
Sello de Aceite 2361344-1	1	37
Buje 2361123	1	28
Tuerca ranurada	1	28
Tuerca de seguridad	1	28
Tuerca de tope elástico 21513753	1	794
Esparrago especial 215682	1	1.117
Pistón 2420042-1	1	20.000
Junta 215228820-1	1	28
Cojinete de armazón con rodamiento 21710226	1	1.247

Descripción	Unidad	Valor total (USD)
Cojinete de armazón con rodamiento 21710228	1	1.254
Cilindros liner cromado	1	28.676
Empuje del cojinete principal 21410365	1	700
Guía	1	2.557
Válvula stellite 45ª Escape 22311212	1	6.015
Válvula stellite 30 Aº Entrada	1	6.015
Sello de aceite 2322541	1	12
“O” Ring 2181196	1	16
Rodillo de leva XHD 43221041	1	800
Buje 4321051	1	210
Pin 4321061	1	2.044
Pin y Clip (2241353-1) 23202819	1	1.400
Buje especial 4320013	1	1.400
Tornillo de cabeza 21553616	1	70
Tuerca de seguridad 2155826-1	1	70
Arandela 2155387	1	70
Eje de la Unidad F.B. PUMP 23210554	1	70
Acoplamiento de bomba de unidad 24912916	1	155
Sello 2361343-1	1	70
Eje Alternador	1	95.616

Descripción	Unidad	Valor total (USD)
Costo Total		\$ 173.577,00

La tabla 69 solo se muestran algunos de los repuestos los que se logró conseguir un indicio de los precios de los motores de combustión Interna ALCO.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- En el desarrollo del presente proyecto se investigó las partes y sistemas de los motores de combustión interna y de los generadores sincrónicos de corriente alterna, esta investigación se realizó mediante los manuales de las máquinas, también en fuentes de internet en donde se investigó las diferentes fallas en los componentes del motor.
- En el análisis de fallos y modos de fallos aplicados en base a la NTP 679, se pudo identificar las posibles causas y efectos al fallar los elementos de los motores de combustión interna y de los generadores sincrónicos de corriente alterna.
- El análisis de fallos y modos de fallos que se realizó a los diferentes componentes de los motores y generadores se determinó que, en cuestión de los motores, el motor perteneciente al grupo 1 tiene fallos con mayor índice de prioridad de riesgo con un valor promedio de 122,21 y por otro lado en los generadores, el generador del grupo 2 es el que tiene el mayor porcentaje de IPR con un valor promedio de 133,94.
- Mediante la realización de la matriz de criticidad se identificó los elementos más críticos que posee los motores y generadores, además con el sistema de colores que posee esta matriz, determinando que el motor de combustión interna del grupo 1 es el que tiene más elementos críticos, concluyendo así la realización de mantenimiento o cambio de elementos.
- Se determinó la fiabilidad de cada máquina, en este estudio se tomó los principales elementos a analizar, mediante la distribución de Weibull, con los dos métodos existentes el método matemático y el método gráfico, los datos partieron de la información de la empresa los mismos que sirvieron para el método matemático y a través del papel de Weibull el método gráfico.
- En el método gráfico de Weibull existe el 1% de credibilidad y el 99% no es confiable en base a los resultados obtenidos mediante estos métodos, por lo que tomamos como referencia para el estudio el método matemático de Weibull.

- Mediante el método de Weibull se identificó que el parámetro β es mayor a 2, con este valor se analiza en la curva de Davis en donde nos indica la fase III la cual es la etapa de envejecimiento o desgaste, en donde el desgaste es creciente.
- En la comprobación de la hipótesis se utilizó la prueba estadística del Chi-Cuadrado demostrando que la hipótesis nula queda excluida, en su lugar la hipótesis alternativa es verdadera en donde se demuestra que los fallos y modos de fallos afectan a los generadores térmicos y su incidencia en la disponibilidad.
- Los costos de mantenimiento e indisponibilidad de la máquina resultaron elevados por lo que afecta directamente al proceso de mantenimiento cercano a la etapa III de la curva de Davis donde la tasa de fallos es elevada.

4.2.Recomendaciones

- Las normas de seguridad personal son importantes, se debe utilizar la protección personal al visitar la central, recolección de datos y manipular cada una de las máquinas.
- En el desarrollo del método del Weibull en cuestión del método gráfico se debe tener en cuenta los parámetros y también los valores β y n que posteriormente va a ser utilizados en el papel Weibull, aplicando estos valores en la fórmula de una manera correcta, y tener datos cercanos.
- En la determinación de los parámetros de los métodos de Weibull se recomienda utilizar un programa de cálculo para poder así reducir los tiempos de determinación de cada uno, revisando y tomando en cuenta la correcta aplicación en las fórmulas.
- Se recomienda el uso de manuales de las máquinas para saber en larga extensión la información general y técnica de cada una de ellas, mediante ello tener una guía en el desarrollo del proyecto.
- Los costos de adquisición de los componentes para mantenimiento son demasiado elevados que realizarlo significa representativo para la empresa y además gastar recursos económicos y humanos.

BIBLIOGRAFÍA

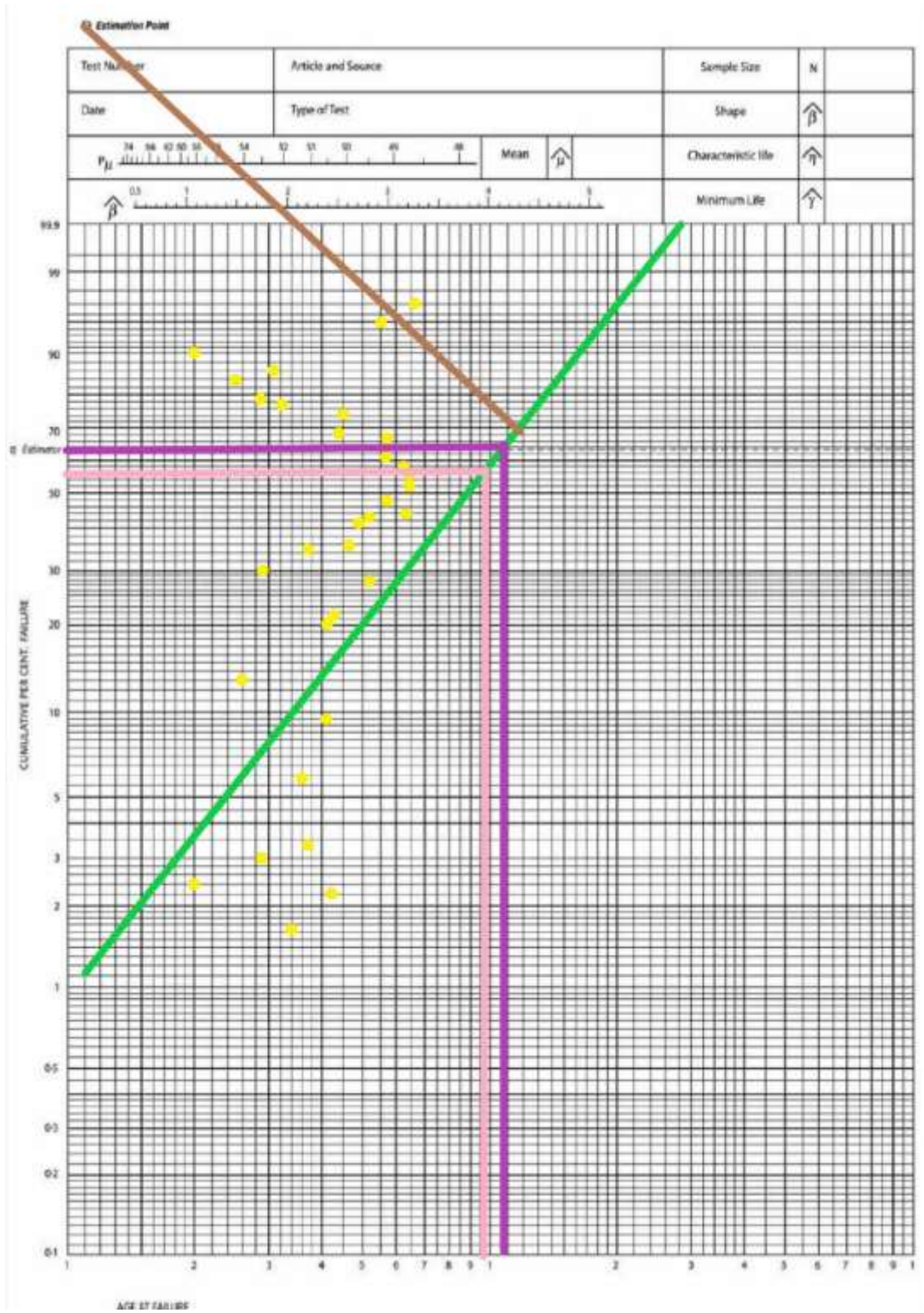
- [1] O. L.-S. Adrián Rodríguez-Ramos, «SCIELO,» Mayo 2014. [En línea]. Available: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59442014000200006. [Último acceso: 02 Agosto 2022].
- [2] A. C. M. Ulloa, «Repositorio de Universidad Azuay,» 2015. [En línea]. Available: <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/4278/1/10836.pdf>. [Último acceso: 03 Agosto 2022].
- [3] S. L. A. OMAR, «Repositorio Universidad Técnica de Ambato,» 2016. [En línea]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/22451/1/Tesis%20I.M.%20326%20-%20Secaira%20L%C3%B3pez%20Alex%20Omar.pdf>.
- [4] M. d. I. Á. M. Véliz, «Repositorio UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA,» 2017. [En línea]. Available: <https://repositorio.uti.edu.ec/bitstream/123456789/679/1/TESIS%20-%20MACIAS%20VELIZ%20MARIA%20DE%20LOS%20ANGELES%20.pdf>.
- [5] C. O. C. Eras, «Repositorio Universidad Técnica de Ambato,» 2015. [En línea]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/10352/1/Tesis%20I.M.%20258%20-%20Carri%C3%B3n%20Eras%20Cristhian%20Omar.pdf>.
- [6] F. C. G. d. León, «Universidad de Murcia,» 1998. [En línea]. Available: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=bOrFC3532MEC&oi=fnd&pg=PA21&dq=mantenimiento+industrial&ots=6OfYMHKhJM&sig=rhxO0EQ2ye91gw2DxSSWtQKe_tE#v=onepage&q&f=false. [Último acceso: 10 Septiembre 2022].

- [7] F. J. G. Fernández, «Mantenimiento Industrial Avanzado,» 2006. [En línea]. Available:
https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=OzwXOAKv_QAC&oi=fnd&pg=P11&dq=mantenimiento+industrial&ots=8Yr5MyL4dm&sig=IwuOyo6PNzx0Pgd-tDr2SQtPB6ak#v=onepage&q&f=false. [Último acceso: 10 Septiembre 2022].
- [8] C. A. M. Montaña, «Universidad Tecnológica de Pereira,» 2016. [En línea]. Available: <https://repositorio.utp.edu.co/bitstreams/fc4afec7-7a16-4e90-8c06-6079f7568740/download>. [Último acceso: 10 Septiembre 2022].
- [9] S. e. Technica, Mayo 2006. [En línea]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4830901.pdf>. [Último acceso: 01 Agosto 2022].
- [10] A. PINTO. [En línea]. [Último acceso: 01 Agosto 2022].
- [11] G. M. P. Guillén, Mayo 2016. [En línea]. Available: <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/6192/1/12425.PDF>. [Último acceso: Julio 2022].
- [12] R. H. Mendoza, Septiembre 2016. [En línea]. Available: <https://ingenieriamecanica.cujae.edu.cu/index.php/revistaim/article/download/364/704>. [Último acceso: Julio 2022].
- [13] «CUMMINS,» [En línea]. Available: <https://www.cummins.com/es/generators/power-generators>. [Último acceso: Julio 2022].
- [14] M. B. Belloví, «Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo.,» 2004. [En línea]. Available: https://www.insst.es/documents/94886/326775/ntp_679.pdf/3f2a81e3-531c-4daa-bfc2-2abd3aaba4ba. [Último acceso: 09 Septiembre 2022].

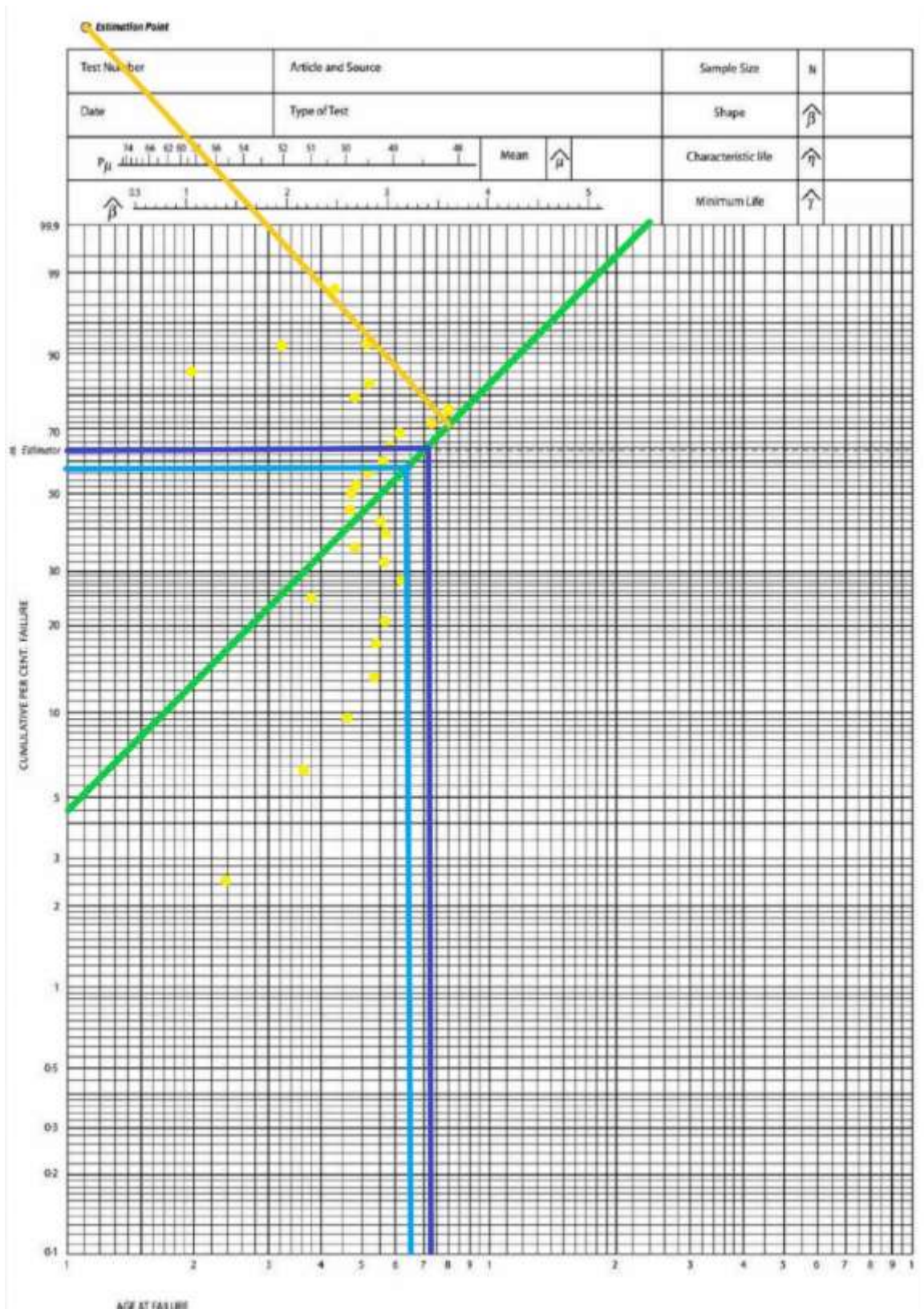
- [15] A. Y. A. Romero, «Repositorio de la Universidad Politécnica Salesiana,» Septiembre 2017. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14606/1/UPS-CT007176.pdf>. [Último acceso: 03 Agosto 2022].
- [16] J. R. Aguilar-Otero, «Redalyc,» 2010. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/482/48215094003.pdf>. [Último acceso: Julio 2022].
- [17] J. R. Aguilar-Otero, «Tecnología, Ciencia, Educación,» 2012. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/482/48215094003.pdf>. [Último acceso: 09 Septiembre 2022].
- [18] « Fairbanks Morse,» [En línea]. Available: <https://www.fairbanksmorse.com/alco251f-ad>. [Último acceso: 05 Enero 2023].
- [19] D. I. C. C. J. Wladimir, «Repositorio Univeridad Técnica de Ambato,» Agosto 2022. [En línea]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/35603>.
- [20] «Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo - INSST,» [En línea]. Available: https://www.insst.es/documents/94886/326775/ntp_679.pdf/3f2a81e3-531c-4daa-bfc2-2abd3aaba4ba. [Último acceso: 18 Enero 2023].
- [21] S. H. O. SAMUEL y B. C. E. RODRIGO, «“GESTIÓN DE MANTENIMIENTO COMPUTARIZADO EN EL GRUPO ELECTRÓGENO ALCO DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA LLIGUA DE LA EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO,» 2012. [En línea]. Available: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3065/1/25T00199.pdf>. [Último acceso: 22 Enero 2023].
- [22] O. M. Barajas, 27 Marzo 2005. [En línea]. Available: <https://blog.utp.edu.co/ricosta/files/2013/01/historia-de-la-ingenieria-mecanica.pdf>. [Último acceso: 10 Septiembre 2022].

ANEXOS

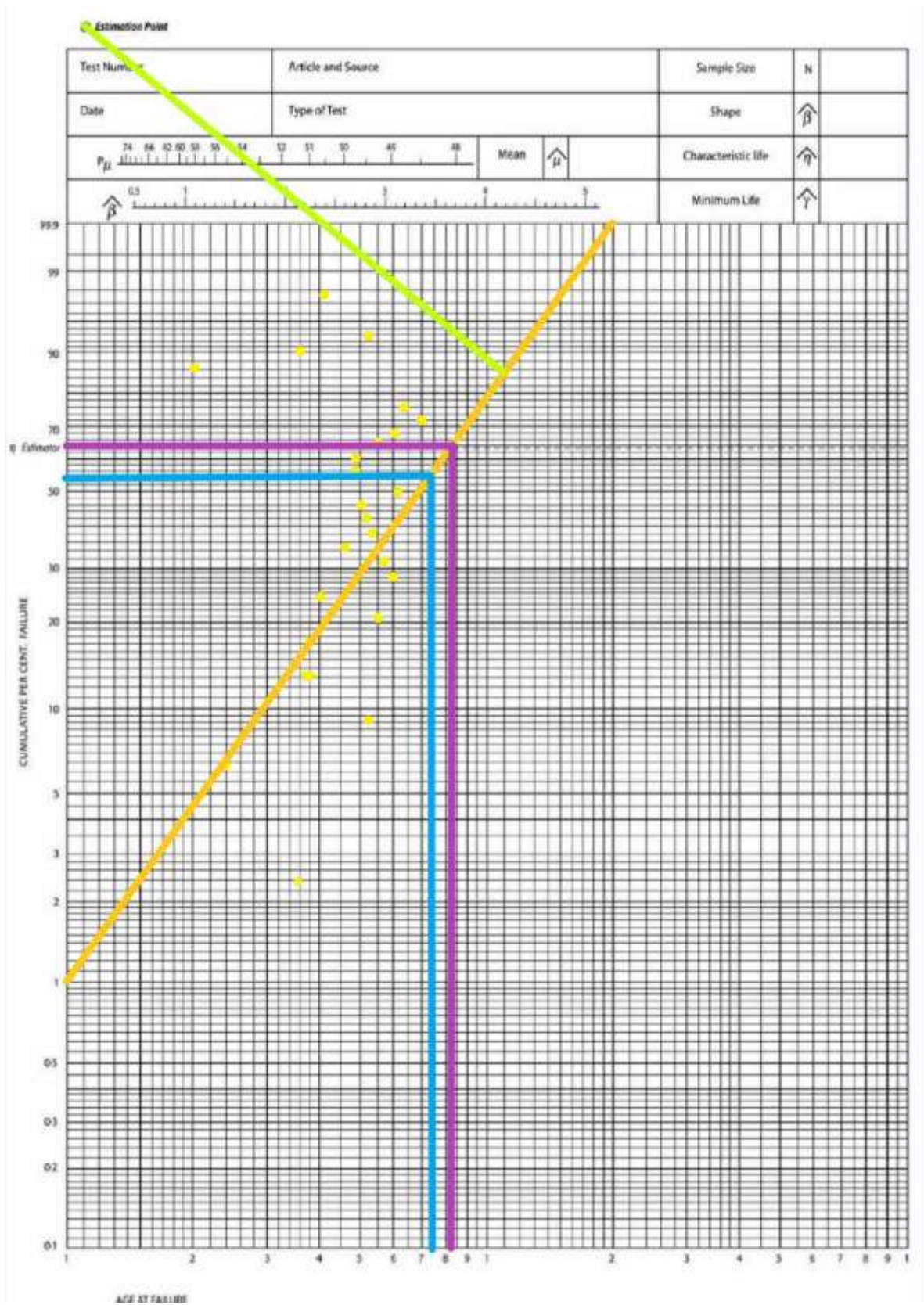
Anexo 1. Papel de Weibull Motor Grupo 2



Anexo 2. Papel de Weibull Generador Grupo 1



Anexo 3. Papel de Weibull Generador Grupo 2





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 Bestratz Bellóv
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 adicionales empleadas en el ámbito de la Calidad para la identificación y análisis de potenciales desviaciones de funcionamiento o fallos, preferentemente en la fase de diseño. Se trata de un método cualitativo que por sus características, resulta de utilidad para la prevención integral de riesgos, incluidos los laborales.

1. INTRODUCCIÓN

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

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

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

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

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.

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.

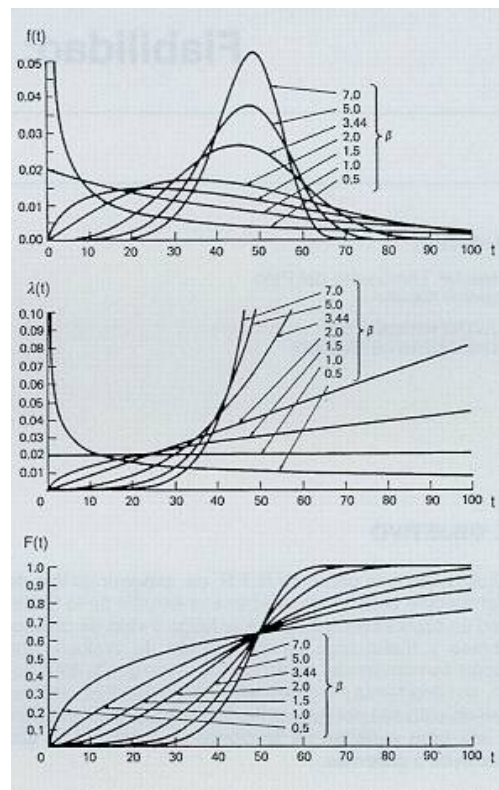


Fig. 1: Variación de la densidad de probabilidad $f(t)$, tasa de fallos $\lambda(t)$ y la función acumulativa de fallos $F(t)$ en función del tiempo para distintos valores del parámetro de forma β

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:
 - si $\beta < 1$ la tasa de fallos disminuye con la edad sin llegar a cero, por lo que podemos suponer que nos encontramos en la juventud del componente con un margen de seguridad bajo, dando lugar a fallos por tensión de rotura.
 - si $\beta = 1$ la tasa de fallo se mantiene constante siempre lo que nos indica una característica de fallos aleatoria o pseudo-aleatoria. En este caso nos encontramos que la distribución de Weibull es igual a la exponencial.
 - si $\beta > 1$ la tasa de fallo se incrementa con la edad de forma continua lo que indica que los desgastes empiezan en el momento en que el mecanismo se pone en servicio.
 - si $\beta = 3,44$ se cumple que la media es igual a la mediana y la distribución de Weibull es sensiblemente igual a la normal.
- b. $t_0 > 0$: El mecanismo es intrínsecamente fiable desde el momento en que fue puesto en servicio hasta que $t = t_0$, y además:
 - si $\beta < 1$ hay fatiga u otro tipo de desgaste en el que la tasa de fallo disminuye con el tiempo después de un súbito incremento hasta t_0 ; valores de β bajos ($\sim 0,5$) pueden asociarse con ciclos de fatigas bajos y los valores de β más elevados ($\sim 0,8$) con ciclos más altos.
 - si $\beta > 1$ hay una erosión o desgaste similar en la que la constante de duración de carga disminuye continuamente con el incremento de la carga.
- c. $t_0 < 0$. Indica que el mecanismo fue utilizado o tuvo fallos antes de iniciar la toma de datos, de otro modo
 - si $\beta < 1$ podría tratarse de un fallo de juventud antes de su puesta en servicio, como resultado de un margen de seguridad bajo.
 - si $\beta > 1$ se trata de un desgaste por una disminución constante de la resistencia iniciado antes de su puesta en servicio, por ejemplo debido a una vida propia limitada que ha finalizado o era inadecuada.

Análisis de Weibull

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

Resolución gráfica

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

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

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

Existen tres casos posibles en función del valor de t_0

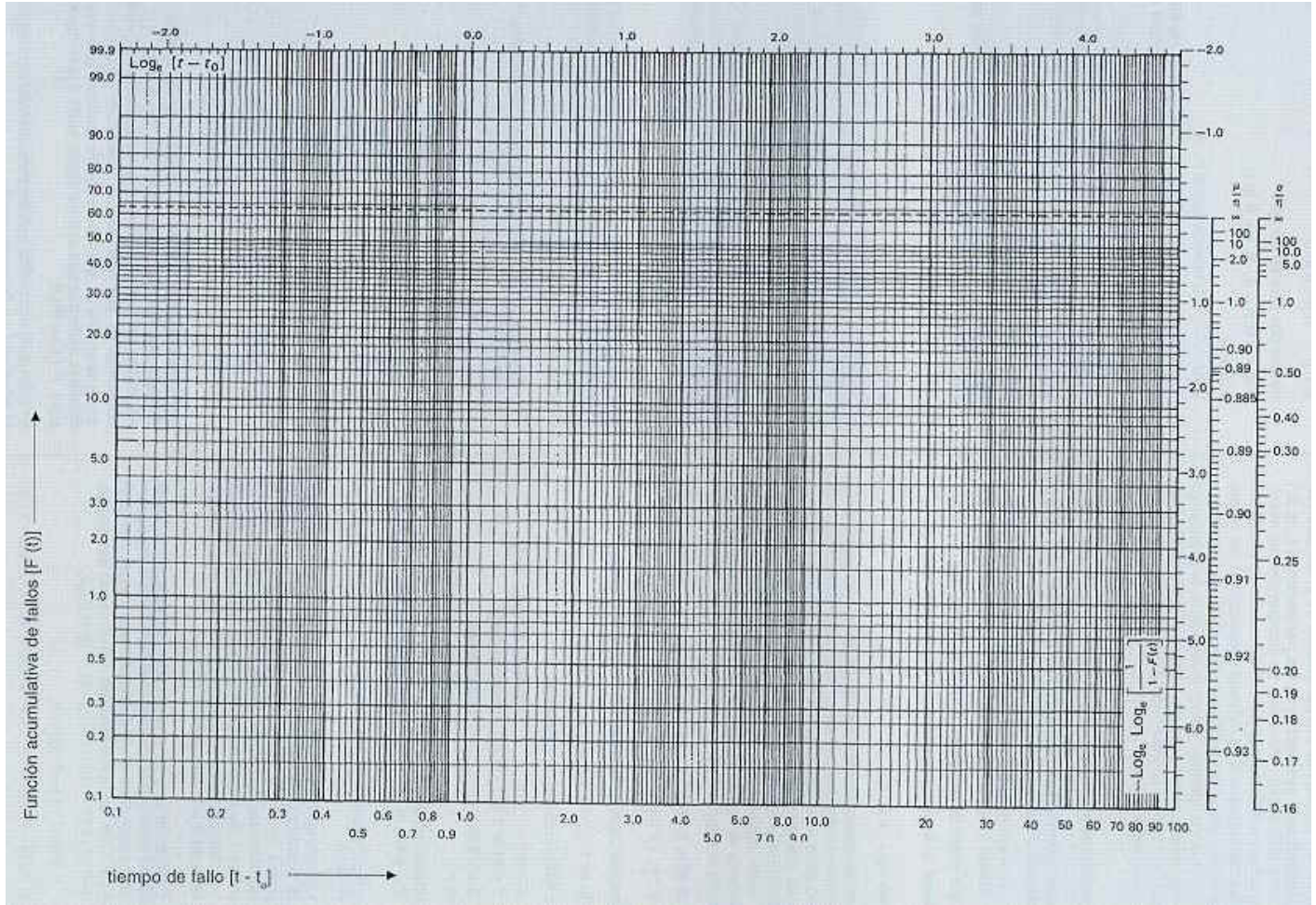


Fig. 2: Muestra del papel de Weibull

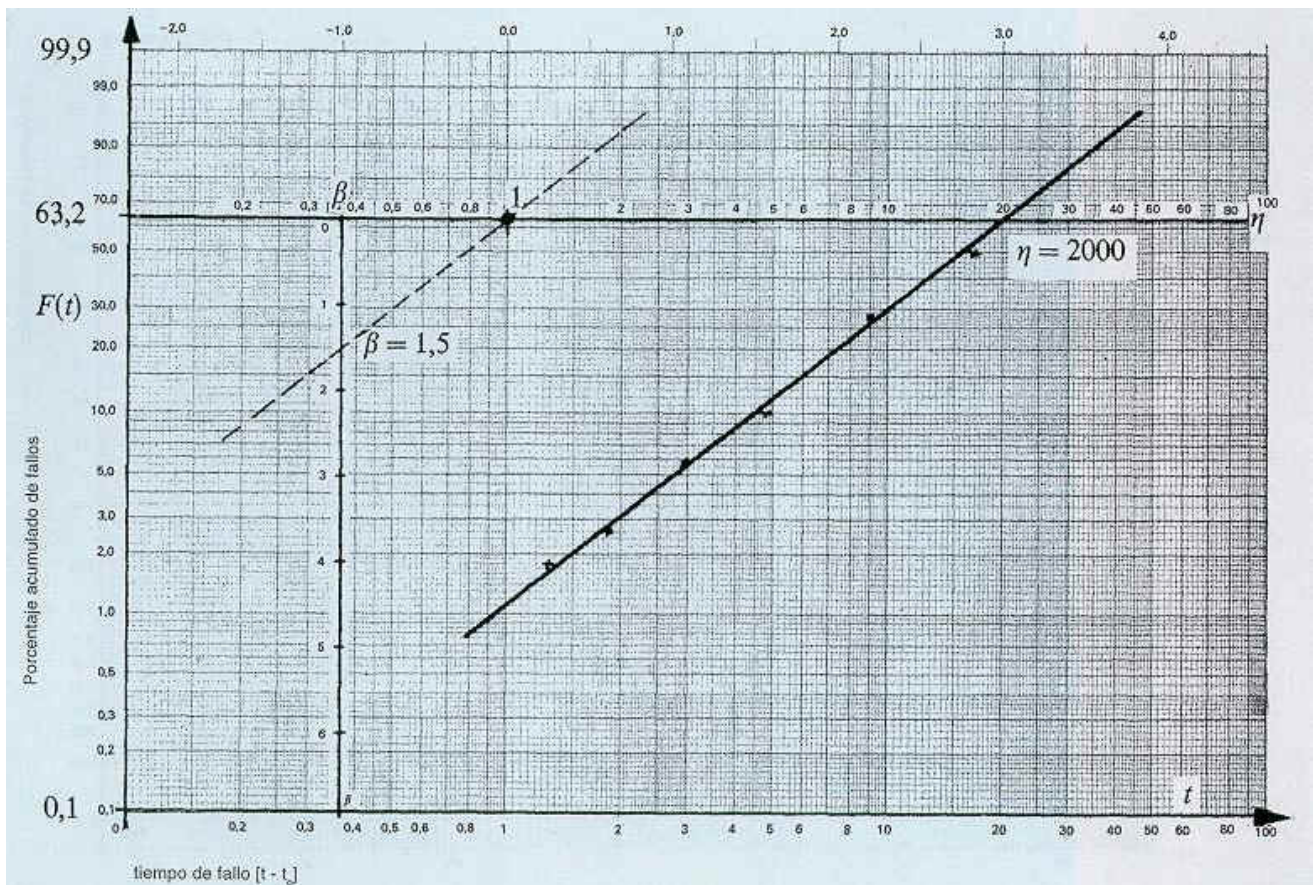


Fig. 3: Lectura de los parámetros h y β en el papel de Weibull

Caso de $t_0 = 0$

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

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

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

Tomando logaritmos neperianos por dos veces:

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

Si a esta igualdad le aplicamos

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

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

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

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

de donde tenemos:

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

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

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

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

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

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

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

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

tendremos que se cumple:

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

$$X = \ln \eta$$

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

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

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

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

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

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

Tabla 1: Fiabilidad

LEY DE WEIBULL:

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

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

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

β	$m/\eta = \Gamma(1+1/\beta)$	σ/η	β	$m/\eta = \Gamma(1+1/\beta)$	σ/η
0	∞	∞	2,0	0,8862	0,463
0,1	10!	$\sqrt{20! - (10!)^2}$	2,1	0,8857	0,44
0,2	120	1901	2,2	0,8856	0,42
0,3	9,2605	47	2,3	0,8859	0,41
0,4	3,3234	10,43	2,4	0,8865	0,39
0,5	2,0000	4,472	2,5	0,8873	0,38
0,6	1,5046	2,645	2,6	0,8882	0,37
0,7	1,2658	1,851	2,7	0,8893	0,36
0,8	1,1330	1,428	2,8	0,8905	0,34
0,9	1,0522	1,171	2,9	0,8917	0,33
1,0	1,0000	1,000	3,0	0,8938	0,32
1,1	0,6649	0,878	3,1	0,8943	0,315
1,2	0,9407	0,785	3,2	0,8957	0,31
1,3	0,9235	0,716	3,3	0,8970	0,30
1,4	0,9114	0,659	3,4	0,8984	0,29
1,5	0,9028	0,613	3,5	0,8998	0,28
1,6	0,8966	0,594	3,6	0,9011	0,27
1,7	0,8922	0,530	3,8	0,9038	0,26
1,8	0,8893	0,512	4,0	0,9064	0,25
1,9	0,8874	0,486			

Ejemplo

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

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

Solución

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

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

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

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	0,5000	0,2929	0,2063	0,1591	0,1294	0,1091	0,0943	0,0830	0,0741	0,0670	0,0611	0,0561	0,519	0,0483	0,0452	1
2		0,7071	0,5000	0,3864	0,3147	0,2655	0,2295	0,2021	0,1806	0,1632	0,1489	0,1368	0,1266	0,1178	0,1101	2
3			0,7937	0,6136	0,5000	0,4218	0,3648	0,3213	0,2871	0,2594	0,2366	0,2175	0,2013	0,1873	0,1751	3
4				0,8409	0,6853	0,5782	0,5000	0,4404	0,3935	0,3557	0,3244	0,2982	0,2760	0,2568	0,2401	4
5					0,8706	0,7345	0,6352	0,5596	0,5000	0,4519	0,4122	0,3789	0,3506	0,3263	0,3051	5
6						0,8909	0,7705	0,6787	0,6065	0,5481	0,5000	0,4596	0,4253	0,3958	0,3700	6
7							0,9057	0,7979	0,7129	0,6443	0,5878	0,5404	0,5000	0,4653	0,4350	7
8								0,9170	0,8194	0,7406	0,6756	0,6211	0,5747	0,5347	0,5000	8
9									0,9259	0,8368	0,7634	0,7018	0,6494	0,6042	0,5650	9
10										0,9330	0,8511	0,7825	0,7240	0,6737	0,6300	10
11											0,9389	0,8632	0,7987	0,7432	0,6949	11
12												0,9439	0,8743	0,8127	0,7599	12
13													0,9481	0,8822	0,8249	13
14														0,9517	0,8899	14
15															0,9548	15

	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
1	0,0424	0,0400	0,0378	0,0358	0,0341	0,0330	0,0315	0,0301	0,0288	0,0277	0,0266	0,0256	0,0247	0,0239	0,0231	1
2	0,1034	0,09775	0,0922	0,0874	0,0831	0,0797	0,0761	0,0728	0,0698	0,0670	0,0645	0,0621	0,0599	0,0579	0,0559	2
3	0,1644	0,1550	0,1465	0,1390	0,1322	0,1264	0,1207	0,1155	0,1108	0,1064	0,1023	0,0986	0,0951	0,0919	0,0888	3
4	0,2234	0,2125	0,2009	0,1905	0,1812	0,1731	0,1653	0,1582	0,1517	0,1457	0,1402	0,1351	0,1303	0,1259	0,1217	4
5	0,2865	0,2700	0,2553	0,2421	0,2302	0,2198	0,2099	0,2009	0,1927	0,1851	0,1781	0,1716	0,1655	0,1599	0,1546	5
6	0,3475	0,3275	0,3097	0,2937	0,2793	0,2665	0,2545	0,2437	0,2337	0,2245	0,2159	0,2081	0,2007	0,1939	0,1875	6
7	0,4085	0,3850	0,3641	0,3453	0,3283	0,3132	0,2992	0,2864	0,2746	0,2638	0,2538	0,2445	0,2359	0,2279	0,2204	7
8	0,4695	0,4425	0,4184	0,3968	0,3774	0,3599	0,3438	0,3291	0,3156	0,3032	0,2917	0,2810	0,2711	0,2619	0,2533	8
9	0,5305	0,5000	0,4728	0,4484	0,4264	0,4066	0,3884	0,3718	0,3566	0,3425	0,3295	0,3175	0,3063	0,2959	0,2862	9
10	0,5915	0,5575	0,5272	0,5000	0,4755	0,4533	0,4330	0,4145	0,3975	0,3819	0,3674	0,3540	0,3415	0,3299	0,3191	10
11	0,6525	0,6150	0,5816	0,5516	0,5245	0,5000	0,4776	0,4572	0,4385	0,4212	0,4053	0,3905	0,3767	0,3639	0,3519	11
12	0,7135	0,6725	0,6359	0,6032	0,5736	0,5466	0,5223	0,5000	0,4795	0,4606	0,4431	0,4270	0,4119	0,3979	0,3848	12
13	0,7746	0,7300	0,6903	0,6547	0,6226	0,5933	0,5669	0,5427	0,5204	0,5000	0,4810	0,4635	0,4471	0,4319	0,4177	13
14	0,8356	0,7875	0,7447	0,7063	0,6717	0,6400	0,6115	0,5854	0,5614	0,5393	0,5189	0,5000	0,4823	0,4659	0,4506	14
15	0,8966	0,8450	0,7991	0,7579	0,7207	0,6867	0,6561	0,6281	0,6024	0,5787	0,5568	0,5364	0,5176	0,5000	0,4835	15
16	0,9576	0,9025	0,8535	0,8095	0,7698	0,7334	0,7007	0,6708	0,6433	0,6180	0,5946	0,5729	0,5528	0,5340	0,5164	16
17		0,9600	0,9078	0,8610	0,8188	0,7801	0,7454	0,7135	0,6843	0,6574	0,6325	0,6094	0,5880	0,5680	0,5493	17
18			0,9622	0,9126	0,8678	0,8268	0,7900	0,7562	0,7253	0,6967	0,6704	0,6459	0,6232	0,6020	0,5822	18
19				0,9642	0,9169	0,8735	0,8346	0,7990	0,7662	0,7361	0,7082	0,6824	0,6584	0,6360	0,6151	19
20					0,9659	0,9202	0,8792	0,8417	0,8072	0,7754	0,7461	0,7189	0,6936	0,6700	0,6480	20
21						0,9669	0,9238	0,8844	0,8482	0,8148	0,7840	0,7554	0,7288	0,7040	0,6808	21
22							0,9684	0,9271	0,8891	0,8542	0,8218	0,7918	0,7640	0,7380	0,7137	22
23								0,9698	0,9301	0,8935	0,8597	0,8283	0,7992	0,7720	0,7466	23
24									0,9711	0,9329	0,8976	0,8648	0,8344	0,8060	0,7795	24
25										0,9722	0,9354	0,9013	0,8696	0,8400	0,8124	25
26											0,9733	0,9378	0,9048	0,8740	0,8453	26
27												0,9743	0,9400	0,9080	0,8782	27
28													0,9752	0,9420	0,9111	28
29														0,9760	0,9440	29
30															0,9768	30

La representación de estos puntos en el gráfico de Weibull nos clá prácticamente una recta (fig. 4). La pendiente de esta recta es 1,5 valor que corresponde al parámetro 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 $F(t) = 63.2$.

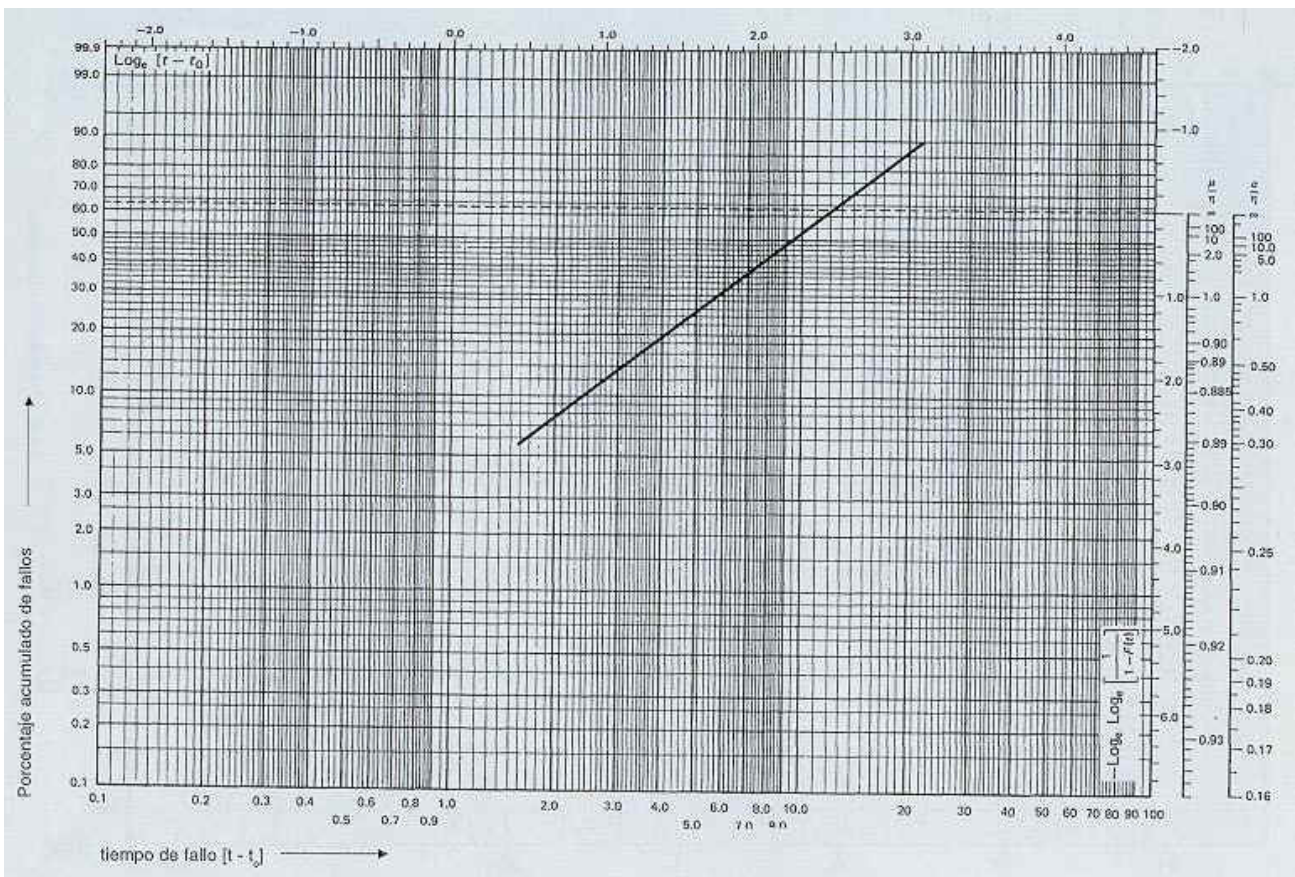


Fig. 4: Resolución gráfica del ejemplo

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

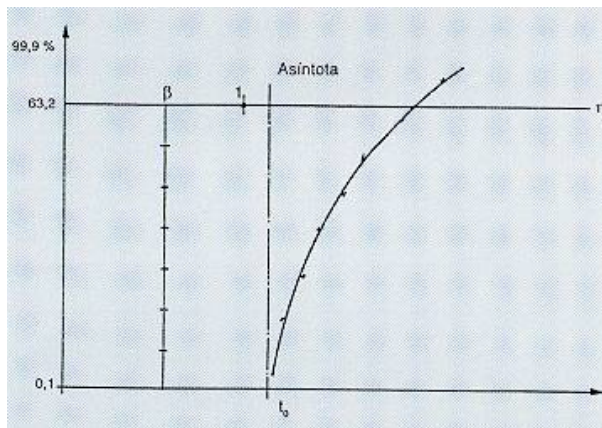


Fig. 5: Representación gráfica para el caso de $t_0 > 0$

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.

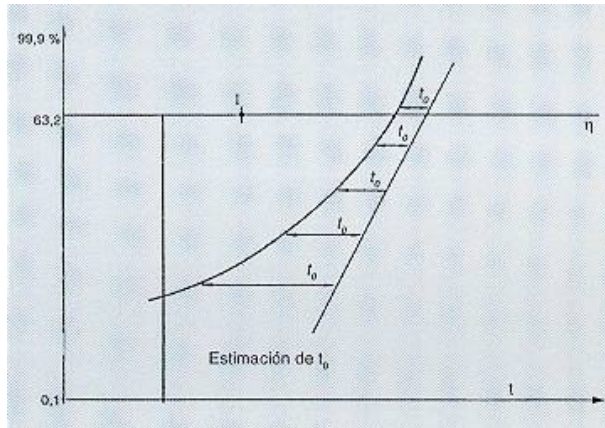


Fig. 6: Representación gráfica para el caso de $t_0 > 0$

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 .

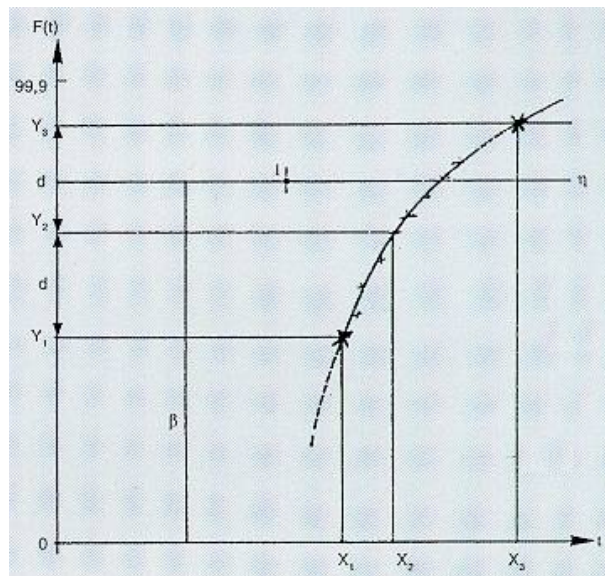


Fig. 7: Cálculo de t_0 por medio de transformaciones funcionales

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)