



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

INSTITUTO DE POSGRADO Y EDUCACIÓN CONTINUA

**“ELABORACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA MEDIR LA
MANTENIBILIDAD EN LOS GRUPOS ELECTRÓGENOS DE LA
EMPRESA POWERON”**

Previa a la obtención del Título de:

MAGISTER EN GESTIÓN DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

AUTOR: CÉSAR MARCELO GALLEGOS LONDOÑO

TUTOR: LUIS FELIPE SEXTO

Riobamba – Ecuador

2016



CERTIFICACIÓN:

EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El Proyecto de Investigación, titulado “ELABORACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA MEDIR LA MANTENIBILIDAD EN LOS GRUPOS ELECTRÓGENOS DE LA EMPRESA POWERON”, de responsabilidad del Sr César Marcelo Gallegos Londoño, ha sido prolijamente revisado y se autoriza su presentación.

Tribunal:

Ing. Fernando Esparza. M.Sc.

PRESIDENTE

FIRMA

Ing. Luis Felipe Sexto. M.Sc.

DIRECTOR

FIRMA

Dr. José Granizo. PHD.

MIEMBRO

FIRMA

Ing. Marco Santillán. M.sc.

MIEMBRO

FIRMA

COORDINADOR SISBIB ESPOCH

FIRMA

Riobamba - Ecuador

2016

DERECHOS DE AUTOR

©2016, César Marcelo Gallegos Londoño

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor

César Marcelo Gallegos Londoño

C.I. 060212787-0

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, César Marcelo Gallegos Londoño, declaro que el presente Proyecto de Investigación, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autora, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este proyecto de investigación de maestría.

Riobamba, mayo del 2016

César Marcelo Gallegos Londoño

C.I. 060212787-0

DEDICATORIA

A Dios.

A mis padres y mi familia.

César

AGRADECIMIENTO.

A mis padres que con su ejemplo de amor, desprendimiento y generosidad que me apoyaron siempre.

A mi familia por su soporte incondicional.

A mis amigos que con su apoyo y conocimiento ayudaron a culminar esta meta.

César

TABLA DE CONTENIDO

PORTADA.....	i
CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL	ii
DERECHOS DE AUTOR	iii
DECLARACIÓN DE AUTENYICIDAD	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
TABLA DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
ÍNDICE DE ECUACIONES	xvii
RESUMEN	xviii
SUMARY	xix

CAPÍTULO I

1.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1	Diagnóstico del problema	3
1.1.1	Formulación del problema	4
1.1.2	Sistematización del problema	4
1.2	Objetivos	4
1.2.1	Objetivo general.....	4
1.2.2	Objetivos específicos	4
1.3	Hipótesis	5
1.4	Justificación	5
1.5	Alcance	6

1.6	Limitaciones.....	6
-----	-------------------	---

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO	7
2.1	Introducción	7
2.2	Definiciones básicas	8
2.3	Relaciones entre fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad.....	14
2.4	Parámetros de la mantenibilidad.....	15
2.5	Curva de la bañera o Davies	19
2.6	Cálculo de la mantenibilidad usando la distribución de Weibull	22
2.6.1	Pasos del proceso del cálculo gráfico analítico	23
2.6.2	Ejemplo de cálculo.....	23
2.6.2.1	<i>Recolección de datos</i>	23
2.6.2.2	<i>Ordenar los datos de los tiempos de reparación</i>	23
2.6.2.3	<i>Calcular los rangos de las medianas</i>	244
2.6.2.4	<i>Cálculo de los datos para la distribución</i>	25
2.6.2.5	<i>Encontrar la regresión lineal</i>	27
2.6.2.6	<i>Hallar los parámetros de la función de Weibull</i>	28
2.6.2.7	<i>Hallar y graficar los valores de la mantenibilidad</i>	30
2.6.2.8	<i>Calcular MTTR</i>	32
2.7	Mantenibilidad intrínseca	33
2.8	Niveles de mantenimiento	34
2.9	Atributos de la mantenibilidad.....	35
2.10	Ejemplo para el cálculo de atributos de la mantenibilidad	37

CÁPITULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO.....	39
3.1	Tipo de la investigación.....	39
3.2	Población y muestra.....	41
3.3	Diseño de la investigación	42

CÁPITULO IV

4.	PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	42
4.1	Cálculo de la probabilidad de la Mantenibilidad.	42
4.1.1	Cuantificación de la mantenibilidad general.	43
4.1.2.	Resumen de la mantenibilidad general	64
4.1.3	Cuantificación de la mantenibilidad por marca	70
4.1.4	Resumen de mantenibilidad por marca.....	76
4.1.5	Cuantificación de la mantenibilidad por tipo de falla.....	80
4.1.6	Resumen de mantenibilidad por tipo de falla.	86
4.2	Cálculo de los atributos de la mantenibilidad.....	90
4.2.1	Cálculo de atributos generales.	90
4.2.2	Resumen atributos generales de la mantenibilidad.....	95
4.2.3	Cálculo de atributos específicos por niveles de mantenimiento	97
4.2.4	Resumen atributos específicos de la mantenibilidad	112
4.3	Comprobación de la hipótesis.....	116
4.3.1	Planteamiento de la hipótesis nula y alternativa.....	117
4.3.2	Elegir el nivel de significación	117
4.3.2	Determinación de la zona de aceptación.....	118
4.3.4	Cálculo de la función Pivotal.....	118

CONCLUSIONES	119
RECOMENDACIONES.....	1231
BIBLIOGRAFÍA	124
ANEXO A (INDICADORES DE MANTENIBILIDAD).....	126
ANEXO B (CÁLCULOS DE LAS LINEALIZACIONES).....	133
ANEXO C TABLA DE DISTRIBUCIÓN t DE STUDENT.	156

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1	Diagnóstico del problema.....	4
Tabla 1-2	Tipos de disponibilidad	9
Tabla 2-2	Tipos de Mantenimiento.....	12
Tabla 3-2	Tiempos de mantenimiento	13
Tabla 4-2	Tiempos de reparación	15
Tabla 5-2	Caracterización de tiempos correctivos.....	16
Tabla 6-2	Funciones de la mantenibilidad, distribuciones conocidas.....	18
Tabla 7-2	Tiempos para reparar, distribuciones conocidas	19
Tabla 8-2	Comportamiento de las tasas de reparación	21
Tabla 9-2	Datos ordenados de TTR (ejercicio).....	23
Tabla 10-2	Rango de las medianas, según tamaño de la muestra	24
Tabla 11-2	Rango de las medianas	25
Tabla 12-2	Cálculo de datos para la linealización	26
Tabla 13-2	Serie de datos.....	27
Tabla 14-2	Valoración coeficiente de correlación	30
Tabla 15-2	Cálculo de la mantenibilidad	31
Tabla 16-2	Niveles de mantenimiento	34
Tabla 17-2	Atributos de la mantenibilidad	35
Tabla 18-2	Atributos generales específicos	36
Tabla 19-2	Cálculo de atributos de la mantenibilidad	38
Tabla 1-3	Lista de equipos analizados	41
Tabla 1-4	Tamaño de la muestra.....	43
Tabla 2-4	Tiempos de reparación	43
Tabla 3-4	Tiempos de reparación enero 2015.....	44
Tabla 4-4	Datos función de la mantenibilidad enero 2015	45
Tabla 5-4	Tiempos de reparación febrero 2015	46
Tabla 6-4	Datos función de la mantenibilidad febrero 2015	47
Tabla 7-4	Tiempos de reparación marzo 2015	48
Tabla 8-4	Datos función de la mantenibilidad marzo 2015.....	49
Tabla 9-4	Tiempos de reparación abril 2015	50
Tabla 10.4	Datos función de la mantenibilidad abril 2015.....	51

Tabla 11-4	Tiempos de reparación mayo 2015.....	52
Tabla 12-4	Datos función de la mantenibilidad mayo 2015.....	53
Tabla 13-4	Tiempos de reparación junio 2015	54
Tabla 14-4	Datos función de la mantenibilidad junio 2015.....	55
Tabla 15-5	Tiempos de reparación julio 2015	56
Tabla 16-4	Datos función de la mantenibilidad julio 2015.....	57
Tabla 17-4	Tiempos de reparación agosto 2015	58
Tabla 18-4	Datos función de la mantenibilidad agosto 2015	60
Tabla 19-4	Tiempos de reparación septiembre 2015.....	60
Tabla 20-4	Datos función de la mantenibilidad septiembre 2015	61
Tabla 21-4	Tiempos de reparación octubre 2015	62
Tabla 22-4	Datos función de la mantenibilidad octubre 2015.....	64
Tabla 23-4	Probabilidad de reparación (2h, 10h, 20h, 40h)	64
Tabla 24-4	Mantenibilidad promedio	65
Tabla 25-4	Parámetros (β , α , MTTR, μ).....	66
Tabla 26-4	Tiempos de reparación equipos Caterpillar (10 meses)	70
Tabla 27-4	Datos función de la mantenibilidad equipos Caterpillar	71
Tabla 28-4	Tiempos de reparación equipos Mtu (10 meses).....	72
Tabla 29-4	Datos función de la mantenibilidad equipos Mtu.....	73
Tabla 30-4	Tiempos de reparación equipos Cummins	74
Tabla 31-4	Datos función de la mantenibilidad equipos Cummins.....	75
Tabla 32-4	N° de equipo, N° de reparaciones, horas de reparación por marca	76
Tabla 33-4	Fallas promedio por marca	77
Tabla 34-4	Horas promedio de reparación por marca	77
Tabla 35-4	Análisis probabilístico de la mantenibilidad por marca	78
Tabla 36-4	Parámetros (β , α , MTTR, μ).....	79
Tabla 37-4	Tiempos de reparación de fallas mecánicas	80
Tabla 38-4	Datos función de la mantenibilidad fallas mecánicas.....	81
Tabla 39-4	Tiempos de reparación de fallas eléctricas	82
Tabla 40-4	Datos función de la mantenibilidad fallas mecánicas.....	83
Tabla 41-4	Tiempos de reparación de fallas electrónicas	84
Tabla 42-4	Datos función de la mantenibilidad quipos electrónicos.....	85
Tabla 43-4	Reparaciones y horas de reparación por tipo de falla.....	86
Tabla 44-4	Horas promedio por reparación por tipo de falla.....	87

Tabla 45-4	Probabilidad de reparación por tipo de falla.....	88
Tabla 46-4	Parámetros (MTTR, μ , β , α).....	89
Tabla 47-4	Atributos generales de la mantenibilidad Caterpillar C15	92
Tabla 48-4	Atributos generales de la mantenibilidad Cummins CS500C	93
Tabla 49-4	Atributos generales de la mantenibilidad MTU P410	93
Tabla 50-4	Resumen de los atributos generales.....	95
Tabla 51-4	Calificación de los atributos generales	97
Tabla 52-4	Atributos específicos N1 Caterpillar C15.....	98
Tabla 53-4	Atributos específicos N2 Caterpillar C15.....	99
Tabla 54-4	Atributos específicos N3 Caterpillar C15.....	100
Tabla 55-4	Atributos específicos N4 Caterpillar C15.....	101
Tabla 56-4	Atributos específicos N5 Caterpillar C15.....	102
Tabla 57-4	Atributos específicos N1 Cummins CS500C	103
Tabla 58-4	Atributos específicos N2 Cummins CS500C	104
Tabla 59-4	Atributos específicos N3 Cummins CS500C	105
Tabla 60-4	Atributos específicos N4 Cummins CS500C	106
Tabla 61-4	Atributos específicos N5 Cummins CS500C	107
Tabla 62-4	Atributos específicos N1 MTU P410	108
Tabla 63-4	Atributos específicos N2 MTU P410	109
Tabla 64-4	Atributos específicos N3 MTU P410	110
Tabla 65-4	Atributos específicos N4 MTU P410	111
Tabla 66-4	Atributos específicos N5 MTU P410	112
Tabla 67-4	Indicadores específicos de mantenibilidad.....	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2	Tiempos de operación, funcionamiento y reparación.	11
Figura 2-2	Tipos de mantenimiento.....	12
Figura 3-2	Relación disponibilidad, mantenibilidad y soporte logístico.	14
Figura 4-2	Función de la mantenibilidad.....	18
Figura 5-2	Curva de la bañera o Davies	20
Figura 6-2	Linealización de la función.....	28
Figura 7-2	Curva de la Mantenibilidad, ejercicio.....	32
Figura 8-2	Atributos de la mantenibilidad.....	37
Figura 9-2	Gráfico de atributos.....	38
Figura 1-4	Linealización enero 2015.....	45
Figura 2-4	Función de la mantenibilidad enero 2015.....	46
Figura 3-4	Linealización febrero.....	47
Figura 4-4	Función de la mantenibilidad febrero 2015	48
Figura 5-4	linealización marzo	49
Figura 6-4	Función mantenibilidad marzo 2015	50
Figura 7-4	Linealización abril.....	51
Figura 8-4	Función mantenibilidad Abril 2015.....	52
Figura 9-4	linealización mayo	53
Figura 10-4	Función mantenibilidad mayo 2015.....	54
Figura 11-4	Linealización junio 2015.....	55
Figura 12-4	Datos función mantenibilidad junio 2015.....	56
Figura 13-4	Linealización Julio 2015	57
Figura 14-4	Función mantenibilidad julio 2015	58
Figura 15-4	Linealización agosto 2015	59
Figura 16-4	Función de la mantenibilidad agosto 2015	60
Figura 17-4	Linealización Septiembre 2015.....	61
Figura 18-4	Función mantenibilidad Septiembre 2015	62
Figura 19-4	Linealización (octubre 2015)	63
Figura 20-4	Función mantenibilidad Octubre 2015.....	64
Figura 21-4	Variación de la mantenibilidad en el tiempo	66
Figura 22-4	Comportamiento de los parámetros en el tiempo β , α , μ , MTTR.....	67

Figura 23-4	Parámetro β enero a octubre del 2015.....	68
Figura 24-4	MTTR mensual enero a octubre del 2015.....	69
Figura 25-4	Tasa de reparación μ (enero a octubre del 2015).....	69
Figura 26-4	Parámetro de escala α enero a octubre del 2015.....	70
Figura 27-4	Linealización equipos Caterpillar.....	71
Figura 28-4	Función mantenibilidad equipos Caterpillar.....	72
Figura 29-4	Linealización equipos MTU.....	73
Figura 30-4	Función mantenibilidad equipos MTU.....	74
Figura 31-4	Linealización Equipos Cummins.....	75
Figura 32-4	Función mantenibilidad.....	76
Figura 33-4	Tiempo total de reparaciones por marca.....	77
Figura 34-4	N° de: Equipos, de reparaciones y h de reparación (marca).....	78
Figura 35-4	Probabilidades de reparación por marca (2h, 10h, 20h y 40h).....	79
Figura 36-4	MTTR por marca.....	80
Figura 37-4	Linealización fallas mecánicas.....	81
Figura 38-4	Función mantenibilidad fallas mecánicas.....	82
Figura 39-4	Linealización fallas eléctricas.....	83
Figura 40-4	Función mantenibilidad fallas eléctricas.....	84
Figura 41-4	Linealización (equipos electrónicos).....	85
Figura 42-4	Función mantenibilidad (equipos electrónicos).....	86
Figura 43-4	Reparaciones Vs horas de reparación por tipo de falla.....	87
Figura 44-4	Horas promedio por reparación por tipo de falla.....	88
Figura 45-4	Probabilidades de reparación por tipo de falla (2h, 10h, 20h y 40h).....	89
Figura 46.4	MTTR por tipo de falla.....	90
Figura 47-4	Atributos generales Caterpillar C15.....	92
Figura 48-4	Atributos generales Cummins CS500C.....	93
Figura 49-4	Atributos generales MTU P410.....	94
Figura 50-4	Resumen de los atributos generales.....	96
Figura 51-4	Atributos específicos N1 Caterpillar C15.....	98
Figura 52-4	Atributos específicos N2 Caterpillar C15.....	99
Figura 53-4	Atributos específicos N3 Caterpillar C15.....	100
Figura 54-4	Atributos específicos N4 Caterpillar C15.....	101
Figura 55-4	Atributos específicos N5 Caterpillar C15.....	102
Figura 56-4	Atributos Específicos N1 Cummins CS500C.....	103

Figura 57-4	Atributos específicos N2 Cummins CS500C.....	104
Figura 58-4	Atributos específicos N3 Cummins CS500C.....	105
Figura 59-4	Atributos específicos N5 Cummins CS500C.....	106
Figura 60-4	Atributos específicos N1 Cummins CS500C.....	107
Figura 61-4	Atributos específicos N1 MTU P410.....	108
Figura 62-4	Atributos específicos N2 MTU P410.....	109
Figura 63-4	Atributos específicos N3 MTU P410.....	110
Figura 64-4	Atributos específicos N4 MTU P410.....	111
Figura 65-4	Atributos específicos N1 MTU P410.....	112
Figura 66-4	Resumen de indicadores de atributos específicos.....	114
Figura 67-4	Atributos específicos N1 por marca.....	114
Figura 68-4	Atributos específicos N2 por marca.....	115
Figura 69-4	Atributos específicos N3 por marca.....	115
Figura 70-4	Atributos específicos N4 por marca.....	116
Figura 71-4	Atributos específicos N5 por marca.....	116
Figura 72-4	Opciones para plantear la hipótesis nula y alternativa.....	117
Figura 73-4	Función t, zonas de aceptación y rechazo.....	117

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-2	Disponibilidad General.....	11
Ecuación 2-2	Disponibilidad correctivo	12
Ecuación 3-2	Tiempo medio para reparar.....	14
Ecuación 4-2	Tasa de reparación	18
Ecuación 5-2	Función de mantenibilidad	20
Ecuación 6-2	Rango de las medianas.....	28
Ecuación 7-2	Mantenibilidad Weibull tres parámetros	25
Ecuación 8-2	Mantenibilidad Weibull dos parámetros.....	37
Ecuación 9-2	Linealización Weibull.....	38
Ecuación 1-4	Función pivotal t Student.....	38

RESUMEN

El objetivo de este proyecto es desarrollar una metodología para la medida de la mantenibilidad para los grupos electrógenos de la empresa POWERON ubicada en Cumbayá. La muestra para el análisis de esta investigación es de 91 equipos de tres tipos de marcas de modelos y potencias diferentes. Para llegar a cumplir con el objetivo se revisaron varias normas y estudios sobre el análisis de la mantenibilidad. Se identificaron dos técnicas, la primera el cálculo probabilístico de la mantenibilidad relacionada con la probabilidad de reparar un equipo luego de la ocurrencia de un fallo, enfocada con el mantenimiento correctivo y la segunda técnica la evaluación de la mantenibilidad intrínseca relacionada con la aptitud por diseño que presenta un dispositivo industrial para ser mantenido. Particularmente se trataron herramientas como la distribución de Weibull y el cálculo cuantitativo de los atributos de la mantenibilidad detallados en la norma UNE 151001, Estas técnicas se fusionaron en una sola metodología que permitirá una evaluación continua de la mantenibilidad. Se logró mejorar los tiempos medios de reparación de 11,72 horas a 5,6 horas además se determinó un mejor comportamiento para los equipos Caterpillar, seguidos por los Cummins, y al final los MTU. Lo más importante el estudio es que permite desarrollar estrategias para establecer acciones que promuevan la mejora continua y consecuentemente aumentar la disponibilidad de los equipos.

Palabras clave: <INDICADORES DE MANTENIBILIDAD>, <MANTENIBILIDAD>, <ATRIBUTOS DE LA MANTENIBILIDAD>, <MANTENIMIENTO CORRECTIVO>, <MANTENIMIENTO PREVENTIVO>, <DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL>.

SUMMARY

The aim of this research is to develop a methodology in order to measure the maintainability of generators from POWERON Company which is located in Cumbayá. The analysis sample for this research is about 91 teams of three types of models and brands of different powers. To reach the goal several standards and studies on maintainability analysis were studied.

Two techniques were identified: first the probabilistic calculation of maintainability related to probability of repair equipment after a failure, focused with corrective maintenance; second technical maintenance and evaluation of intrinsic maintainability related with the design which has an industrial device to be maintained.

Particularly it treated tools like the Weibull distribution and quantitative calculation of the attributes of maintainability detailed in the standard UNE 151001, so these techniques are merged into one methodology that will allow continuous assessment of maintainability.

It has improved average repair times from 11.72 hours to 5.6 hours, also high performance for Caterpillar equipment was determined, which were followed by Cummins, and eventually the MTU. The most important of the study is that it allows developing strategies in order to establish actions that promote continuous improvement and consequently increase equipment availability.

Keywords: <MAINTAINABILITY INDICATORS >, <MAINTAINABILITY>, <MAINTAINABILITY ATTRIBUTES>, <CORRECTIVE MAINTENANCE>, <PREVENTIVE MAINTENANCE>, <WEIBULL DISTRIBUTION>.

CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

POWERON es una organización que se fundó en Ecuador sobre la base de un patrimonio corporativo, de metas enfocadas a solventar las necesidades de sus clientes. Una de las líneas más importantes a la que se dedica la empresa es el servicio de alquiler, operación y mantenimiento de grupos electrógenos entre 20 kW y 3000 kW de varias marcas, Caterpillar, MTU y Cummins, incluyendo equipos insonorizados móviles, estos servicios en su mayoría están dirigidos al sector petrolero. Proporcionando energía a procesos importantes como la extracción de crudo, lo que los convierte en equipos de alta criticidad, pues una falla de ellos ocasionaría pérdidas importantes o dificultades graves en la operación, por lo tanto asegurar su disponibilidad es prioritario.

Al referirse al término mantenibilidad lo primero que viene a la mente es la facilidad para realizar una actividad o un trabajo de mantenimiento, esta facilidad involucra algunos aspectos:

- Realizar los trabajos rápidamente.
- Realizar los trabajos con seguridad.
- Al menor costo posible.
- Minimizando los requerimientos logísticos.
- Realizar los trabajos con procedimientos técnicos adecuados.

En el transcurso del ciclo de vida de un activo, los costos de operación y mantenimiento suelen ser altos, en algunos casos incluso suelen superar el costo inicial de inversión, sobre todo en activos cuya vida es razonablemente alta.

Realizar cualquier acción que pueda hacer que los trabajos de mantenimiento sean más efectivos y eficaces, ocasionará ahorros significativos a la empresa.

Por lo tanto se hace necesario definir métodos para la adquisición de información sobre la gestión de mantenimiento, para desarrollar técnicas y con ellas definir acciones que nos ayuden a emprender la mejora continua.

La mantenibilidad es uno de los conceptos más importantes para identificar problemas del mantenimiento y tomar acciones correctivas.

Una parte muy importante en el desarrollo de la gestión de la empresa, es crear una metodología para la evaluación de la mantenibilidad de sus equipos.

Para resolver la problemática se analizará los dos conceptos más difundidos sobre la mantenibilidad:

1. “La mantenibilidad es la capacidad de un elemento, para mantener o ser devuelto a un estado en el cual pueda desarrollar su función requerida, bajo unas condiciones de uso dadas y cuando el mantenimiento se ejecuta bajo condiciones determinadas y utilizando procedimientos y recursos establecidos" (AENOR EN 13306, 2011).
2. “La mantenibilidad es la probabilidad de que una acción determinada de mantenimiento activo, aplicada sobre un elemento bajo unas condiciones de utilización definidas, pueda llevarse a cabo dentro de un intervalo de tiempo establecido, cuando dicho mantenimiento se realiza bajo condiciones y usando procedimientos y recursos establecidos” (AENOR UNE-IEC 60300-3-10, 2007).

El primer concepto de mantenibilidad habla de la capacidad del elemento de ser mantenido o ser restituido, a un estado en que pueda desarrollar su función requerida, esta capacidad viene determinada desde el diseño del elemento (capacidad intrínseca). El segundo concepto se refiere al estudio de la mantenibilidad en términos probabilísticos, se resume como la probabilidad de que un equipo que presenta una falla sea reparado en un periodo de tiempo determinado.

La empresa POWERON posee grupos electrógenos de varias marcas y modelos, compararlos desde el punto de vista de la mantenibilidad se hace necesario, para obtener

información valiosa que ayude a definir estrategias e incluso decisiones sobre futuras inversiones.

El contexto operacional de los grupos electrógenos varía continuamente, pues los equipos son utilizados en diferentes locaciones y con distintos requerimientos de producción. Analizar los cambios de los índices de mantenibilidad ante los cambio de ubicación permitirán tomar decisiones acertadas.

1.1 Diagnóstico del problema

Cada empresa debería definir los requerimientos de disponibilidad de sus equipos para poder cumplir con las exigencias de producción, en las empresas que prestan servicios a terceros, los requerimientos de disponibilidad vienen definidos por las necesidades de sus clientes.

Un equipo entra en indisponibilidad cuando realizamos acciones de mantenimiento preventivo o correctivo. Los tiempos de parada por acciones de mantenimiento preventivo están definidos por las tareas planificadas a intervalos predeterminados y por tareas que son identificadas gracias a inspecciones o al monitoreo de parámetros (mantenimiento por condición).

El objetivo del mantenimiento preventivo es reducir la probabilidad del fallo. No obstante a pesar del mantenimiento preventivo siempre existe la probabilidad de ocurrencia de fallos, éstos se presentan por diferentes motivos: por desgaste o deterioro, por mala operación, por una mala ejecución de mantenimiento, por deficiencias o carencia en el mantenimiento preventivo, por factores externos, por montajes defectuosos, por transporte de los equipos, por imprevistos, etc.

En los grupos electrógenos se pueden producir una gran variedad de fallos: fallos eléctricos, fallos mecánicos, fallos por instrumentación, fallos por software, fallos por factores externos como la mala calidad de combustible.

Los tiempos de parada que generan estos fallos deben ser minimizados y para ello además de evitarlos, tenemos que corregirlos rápidamente cuando estos ocurran, en

otras palabras mejorar la mantenibilidad. En la siguiente tabla se resumen las debilidades evidenciadas y el diagnóstico del problema; síntomas, causas, Pronóstico, Control del pronóstico.

Tabla 1-1 Diagnóstico del problema

Síntomas	Causas	Pronóstico	Control al pronóstico
-Tiempos de reparación altos - Tiempos logísticos altos - Baja en la disponibilidad	-Procedimientos inadecuados -Fallas en la logística -Cambio de los sistemas en su contexto operacional -Fallas del diseño -Tiempos de respuesta altos -Tiempos de mantenimiento altos	-Exceso en horas de mantenimiento -Incremento en costos de mantenimiento -Inconformidad de cliente -Baja disponibilidad	- Promover acciones para reducir los tiempos de mantenimiento, por ende el aumento de la disponibilidad de los grupos electrógenos de la empresa Poweron

Fuente: GALLEGOS, César, 2015

1.1.1 *Formulación del problema*

¿De qué manera se puede implementar una metodología para evaluar la mantenibilidad de los grupos electrógenos que cuenta la empresa POWERON?

1.1.2 *Sistematización del problema*

¿Se realiza actualmente medidas de la mantenibilidad de los grupos electrógenos?

¿Será importante conocer, cuales son las fortalezas y debilidades de los procedimientos?

¿Qué modelo de evaluación de la mantenibilidad, será conveniente aplicar?

1.2 **Objetivos**

1.2.1 *Objetivo general*

Desarrollar una metodología para la medida de la mantenibilidad para los grupos electrógenos de la empresa POWERON.

1.2.2 *Objetivos específicos*

- Definir un marco teórico que describa las variables necesarias para el desarrollo de un sistema de medida de la mantenibilidad.
- Medir los atributos generales de la mantenibilidad intrínseca que permita comparar equipos de diferentes marcas.
- Medir los atributos específicos de la mantenibilidad dependientes de los niveles de mantenimiento y de la organización de la empresa.
- Agrupar los atributos generales y específicos para obtener una medida consolidada de mantenibilidad considerando su contexto operacional.
- Definir una metodología para el cálculo probabilístico de la mantenibilidad.

1.3 Hipótesis

La aplicación de una metodología para la evaluación de la mantenibilidad contribuye de manera fundamental a la seguridad de funcionamiento de dispositivos industriales, permitiendo el desarrollo de estrategias y políticas para establecer acciones que promuevan la mejora continua y de esta manera aumentar la disponibilidad de los equipos.

- Variable dependiente: La Disponibilidad.
- Variable independiente: La mantenibilidad y específicamente el MTTR (Tiempo medio para reparar).

1.4 Justificación

Toda organización bien o mal realiza gestión sobre sus activos, esta gestión debe ser eficaz para asegurar que sus activos cumplan con los objetivos organizacionales como:

- La implementación y estandarización de los procesos y procedimientos adecuados.
- La planificación de actividades y la toma de decisiones, las cuales deben estar basadas en información adecuada, que permitirán que los objetivos de la organización se transformen en planes de gestión.

- La adecuada utilización de los recursos de la organización (financieros, humanos, de información, logísticos y de operaciones).
- La adecuada utilización de los activos para poder obtener su mayor rendimiento

Mediante el estudio de la mantenibilidad, se pretende establecer mejoras estratégicas y así desarrollar políticas claras de mantenimiento y operación de los activos

Es importante mencionar que las evaluaciones propuestas por esta investigación no serán puntuales, deberán ser valoradas a lo largo de la vida del activo, para continuar con la mejora de los niveles de calidad y conseguir estándares mundiales y así alcanzar un proceso productivo competitivo con bajos costos de mantenimiento y operación.

1.5 Alcance

El trabajo de investigación se realiza en la empresa POWERON, ubicada en Cumbayá, Av. Eugenio Espejo 2410, lote 5 vía a Tanda Centro Comercial Plaza del Rancho Piso 1, Oficina 104.

Con este estudio se pretende beneficiar a la empresa, debido a las mejoras que podrá alcanzar, al desarrollar e implementar un procedimiento para el cálculo de la mantenibilidad, de los grupos electrógenos que posee, con ello se conseguirá un mayor aprovechamiento de sus equipos, contribuyendo a mejorar la productividad del negocio.

La empresa posee también otro tipo de activos, en esta investigación se abordará únicamente a sus grupos electrógenos.

Por razones de confidencialidad este estudio se realizará en una muestra de equipos, autorizados por la empresa POWERON.

1.6 Limitaciones

No existen limitaciones considerables para conseguir y proporcionar información para el presente estudio, pues la empresa POWERON posee una base de datos sobre fallas de los equipos y tiempos de reparación. Una limitante eventual serán los recursos financieros para el

estudio y la disponibilidad del personal técnico para la recolección de información por las ocupaciones pertinentes a los cargos que desempeñan.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Introducción

El objetivo de un equipo o un activo de una empresa es satisfacer las necesidades para lo que fue adquirido, para evitar que un equipo no sea capaz de cumplir las funciones debemos realizar acciones de mantenimiento preventivo (MP), a pesar de poseer un buen plan de MP los equipos fallan y recuperarlos lo más pronto posible y con los recursos óptimos es indispensable.

Existen gran variedades de equipos en el mercado, hay equipos más fiables que otros, más robustos o que soportan condiciones de trabajos más extremos, también equipos más fáciles de ser mantenidos. Estas características mencionadas son inherentes de cada dispositivo y generadas desde el diseño del mismo.

Otro punto muy importante es el soporte logístico necesario para el mantenimiento, la provisión adecuada y a tiempo de materiales y repuestos, además poseer la información técnica adecuada y el personal calificado, son indispensable para una buena gestión de mantenimiento. La disponibilidad de un equipo es una propiedad utilizada para tomar decisiones. La disponibilidad es afectada directamente por la fiabilidad, la mantenibilidad y el soporte logístico.

Los equipos más fiables son generalmente más costosos y no siempre se cuentan con los recursos necesarios para adquirirlos, aquí es donde la mantenibilidad toma fuerza, pues

un buen diseño de la mantenibilidad ayudará a realizar más rápidamente los mantenimientos preventivos y correctivos y por ende mejorar la disponibilidad.

Para mejorar la gestión de mantenimiento. Ésta debe ser evaluada, los índices de mantenimiento permiten realizar evaluaciones cualitativas y cuantitativas a lo largo del tiempo de vida del activo.

Para aplicar y calcular adecuadamente estos índices se hace necesario aclarar algunos conceptos.

2.2 Definiciones básicas

Mantenimiento: Combinación de todas las técnicas administrativas y de gestión, durante el ciclo de vida de un elemento, destinadas a conservarlo o devolverlo a un estado en el cual pueda desarrollar la función requerida (AENOR EN 13306, 2011, pág. 8).

Activo: Es un bien que pertenece a una empresa, criterio contable (puede ser tangible o intangible). Otra definición es, todo artículo que tiene un valor real o potencial para una organización (EN 16646, 2014, pág. 17).

Elemento reparable: Elemento que puede devolver a un estado que pueda desarrollar una función requerida, después de la ocurrencia de un fallo y bajo condiciones determinadas. (AENOR EN 13306, 2011, pág. 9).

Avería: Estado de un elemento caracterizado por la incapacidad de desarrollar una función requerida, excluyendo la incapacidad durante el mantenimiento preventivo o por acciones planificadas, o debido a falta de recursos externos (AENOR EN 13306, 2011, pág. 12).

Tarea de mantenimiento: Una tarea de mantenimiento es el conjunto de actividades que debe realizar el usuario para mantener la funcionalidad del elemento o sistema (KENEZEVIC, Mantenimiento, 1996, pág. 42).

FIABILIDAD: Capacidad de un elemento de desarrollar una función requerida bajo unas condiciones dadas durante un intervalo de tiempo determinado (AENOR EN 13306, 2011, pág. 10).

MANTENIBILIDAD: Capacidad de un elemento bajo condiciones dadas para mantenerse o ser devuelto a un estado en el cual pueda desarrollar una función requerida, cuando el mantenimiento se ejecuta bajo condiciones determinadas y utilizando procedimientos y recursos preestablecidos (AENOR EN 13306, 2011, pág. 10).

DISPONIBILIDAD: Es la proporción de tiempo durante la cual un sistema o un equipo estuvo en condiciones de ser usado (TORRES, 2005, pág. 21). La disponibilidad se define también, como la capacidad de un elemento de encontrarse en un estado de desarrollar una función requerida bajo unas condiciones determinadas en un instante dado o bien durante un intervalo de tiempo determinado, asumiendo que se proveen los recursos externos requeridos (AENOR EN 13306, 2011, pág. 10).

TIPOS DE DISPONIBILIDAD: Para calcular la disponibilidad en un período de tiempo es necesario conocer los tiempos no operativos de los elementos. En el siguiente cuadro se representan los tipos de disponibilidad enfocando los diferentes criterios para calcular los tiempos no operativos.

Tabla 1-2 Tipos de disponibilidad

Disponibilidad Intrínseca	Disponibilidad Alcanzada	Disponibilidad Operacional
Considera como no operativos únicamente los tiempos de reparación	Considera como no operativos los tiempos correctivos y los tiempos planificados (preventivos, predictivos, en condición)	Considera como no operativos los tiempos correctivos, los tiempos planificados (preventivos, predictivos, en condición), los tiempos logísticos de preparación y tiempos por demoras administrativas
No toma en cuenta tiempos logísticos ni administrativos	No toma en cuenta tiempos logísticos ni administrativos	Toma en cuenta tiempos logísticos y administrativos
$DI = \frac{TO - TR}{TO}$	$DA = \frac{TO - (TR + TMP)}{TO}$	$DO = \frac{TO - (TR + TMP + TL + TA)}{TO}$

Fuente: TORRES, 2005, pág. 21

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Dónde:

DI Disponibilidad intrínseca

DA Disponibilidad alcanzada

DO	Disponibilidad operacional
TO	Tiempo total de operación
TR	Tiempo de reparación
TMP	Tiempo de mantenimiento preventivo
TI	Tiempo logísticos de preparación
TA	Tiempo por demoras administrativas

La disponibilidad en su concepto general se representa:

$$\mathbf{Disponibilidad} = \frac{\textit{Tiempo en que el dispositivo opera correctamente}}{\textit{Tiempo en que el elemento puede operar}}$$

La disponibilidad utilizada cuando se desea controlar las actividades de mantenimiento correctivo, no contempla tiempos de mantenimientos preventivos programados, se simboliza como:

$$Dc = \frac{\sum \text{Tiempos de buen funcionamiento}}{\sum \text{Tiempos de buen funcionamiento} + \sum \text{Tiempos de reparación}}$$

$$Dc = \frac{\sum TBF}{\sum TBF + \sum TTR} \quad \text{Ecuación 1-2}$$

Dividiendo los tiempos de buen funcionamiento, para el número de fallos obtenemos el MTBF, y dividiendo los tiempos de reparación, para el número de fallos obtenemos el MTTR.

$$Dc = \frac{\sum TBF/n}{\sum TBF/n + \sum TTR/n}$$

La disponibilidad se representa como:

$$Dc = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad \text{Ecuación 2-}$$

Dónde:

Dc Disponibilidad por correctivo.

MTBF Tiempo medio entre fallos.

MTTR Tiempo medio para reparar.

n Número de fallos / Número de reparaciones.

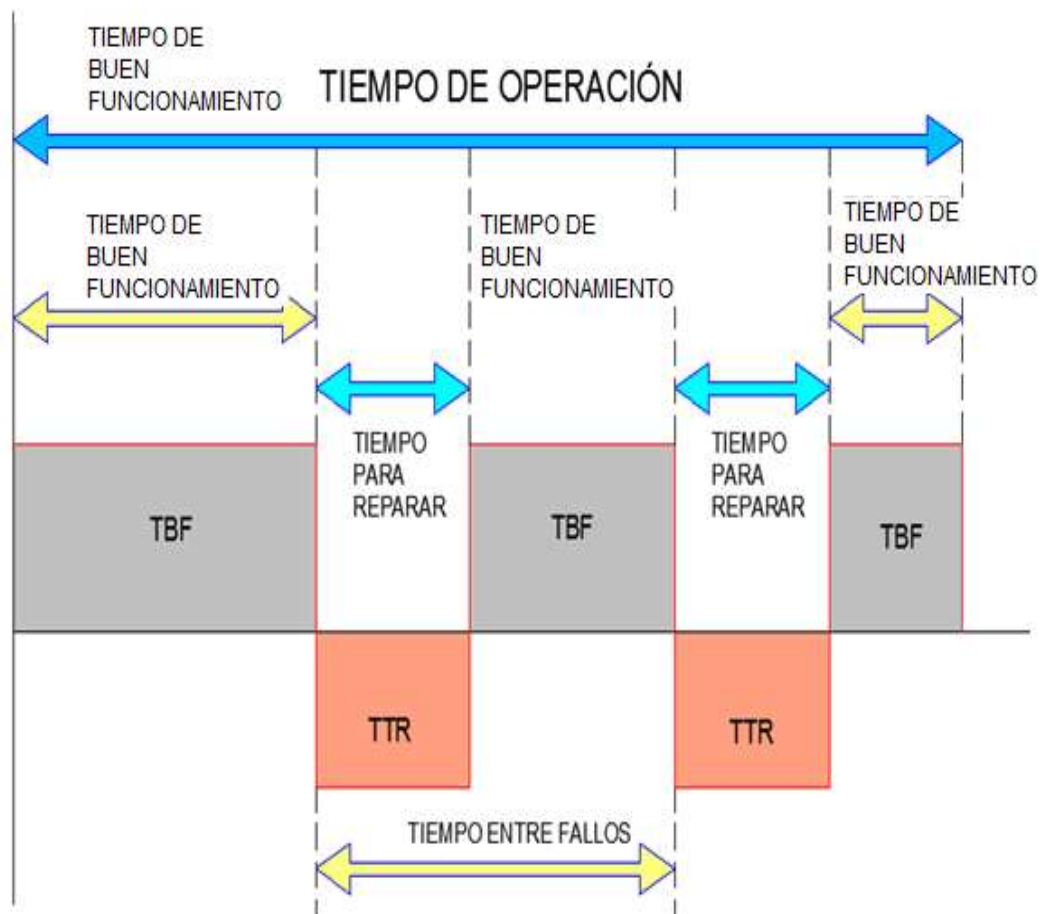


Figura 1-2 Tiempos de operación, funcionamiento y reparación.

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

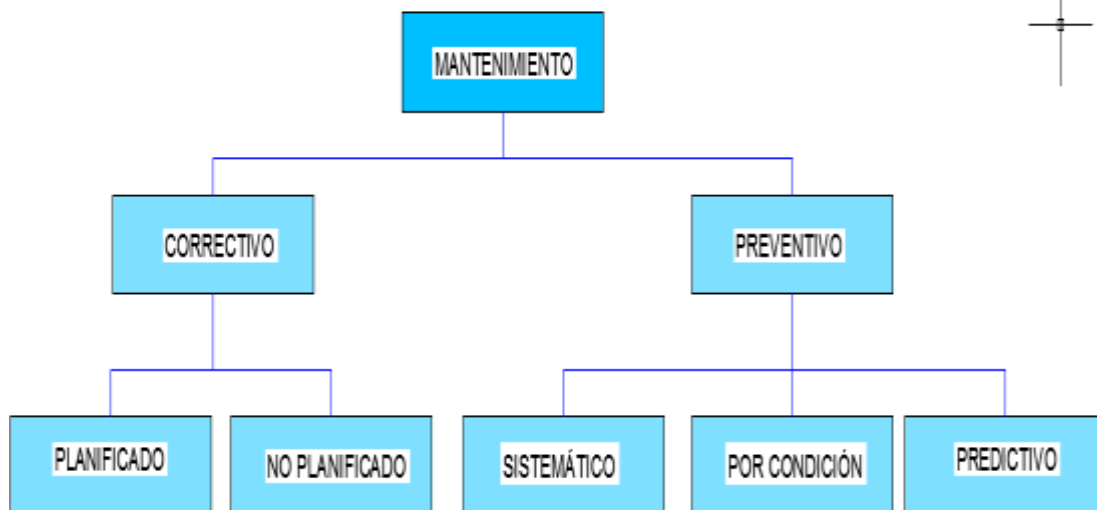


Figura 2-2 Tipos de mantenimiento

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Tipos de mantenimiento: En la siguiente tabla se resumen las definiciones de los tipos de mantenimiento tomados de la norma (AENOR EN 13306, 2011, pág. 13).

Tabla 2-2 Tipos de Mantenimiento

Mantenimiento	Acciones técnicas, administrativas y de gestión destinadas a que un activo desempeñe su función
Mantenimiento preventivo	Reduce la probabilidad de fallo ejecutado en intervalos predeterminados
Mantenimiento programado	Se ejecuta en función de intervalos de tiempo o unidades operadas
Mantenimiento sistemático	Mantenimiento preventivo ejecutado en tiempos establecidos o unidades operadas
Mantenimiento por condición	Mantenimiento preventivo basado en monitoreo de parámetros y funcionamiento
Mantenimiento predictivo	Mantenimiento en condición consecuencia de análisis y evaluaciones, permite proyectar consecuencias en el futuro

Mantenimiento correctivo	Mantenimiento ejecutado después de una avería, recupera la función
Mantenimiento correctivo planificado	Mantenimiento ejecutado después de una avería pero están previstos los recursos necesarios para ejecutarlo

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015
Fuente: AENOR EN 13306, 2011

Tiempos relacionados con la gestión de mantenimiento: se presenta en la siguiente tabla conceptos del significado de los tiempos de mantenimiento descrito en la norma (AENOR EN 13306, 2011, pág. 16).

Tabla 3-2 Tiempos de mantenimiento

Tiempos relacionados con la gestión de mantenimiento	
Tiempo de disponibilidad	Intervalo de tiempo en estado de disponibilidad.
Tiempo de mantenimiento	Intervalo de durante el cual el mantenimiento se ejecuta incluyendo retrasos logísticos y técnicos
Tiempo de inactividad	Intervalo de tiempo que un elemento se encuentra inactivo
Tiempo de funcionamiento	Intervalo de tiempo en el elemento cumple su función
Tiempo mantenimiento preventivo	Parte del tiempo de mantenimiento que se ejecuta mantenimiento preventivo incluye retrasos técnicos y logísticos
Tiempo de mantenimiento correctivo	Parte del tiempo de mantenimiento que se ejecuta mantenimiento correctivo incluye retrasos técnicos y logísticos
Tiempo de mantenimiento activo	Intervalo de tiempo de mantenimiento que excluye retrasos técnicos y logísticos
Tiempo de reparación	Parte del mantenimiento correctivo durante la reparación
Tiempo medio de reparación	Esperanza matemática del tiempo de reparación
Retraso logístico	Tiempo que no se puede ejecutar el mantenimiento en espera de adquirir recursos excluye retrasos administrativos
Ciclo de vida	Intervalo de tiempo que inicia con el diseño y termina con retirada del elemento
Tiempo entre fallas	Tiempo medido de buen funcionamiento entre fallas
Tiempo medio entre fallas	Media de los tiempos entre fallos

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015
Fuente: AENOR EN 13306, 2011

2.3 Relaciones entre fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad

La medida de la fiabilidad o confiabilidad de un equipo depende del número de fallas, si no existen fallas la fiabilidad de un equipo es alta y si se incrementan las fallas hablamos de un equipo poco fiable. De forma similar un equipo es considerado de alta mantenibilidad si los tiempos de reparación o de mantenimiento son cortos y de baja mantenibilidad si los tiempos de reparación o de mantenimiento son altos y requiere de grandes esfuerzos.

Las características inherentes de un equipo (por diseño), determinan la frecuencia con que se van a presentar los fallos, como también la dificultad de corregirlos. La complejidad de las actividades de mantenimiento es otra característica que depende del diseño de los equipos.

Además, el soporte logístico asegura que las actividades de mantenimiento se ejecuten exitosamente, con los recursos adecuados y en los tiempos establecidos. La logística de mantenimiento no depende de las características del diseño, depende en gran medida de la organización de la empresa.

Por consiguiente, la cantidad de tiempo que un sistema está funcional, depende de la interacción entre las características de un sistema que son inherentes desde el diseño, como son la fiabilidad y la mantenibilidad combinadas con la gestión y ejecución de las funciones logísticas del mantenimiento (KENEZEVIC, Mantenimiento, 1996, pág. 27).



Figura 3-2 Relación disponibilidad, mantenibilidad y soporte logístico.

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

2.4 Parámetros de la mantenibilidad

La mantenibilidad es la propiedad del activo, que consiste en la facilidad que el mismo brinda para prevenir y descubrir las causas que originan sus fallos y deterioros, así como la eliminación de sus consecuencias, mediante la realización del mantenimiento, reparación y restauración (SEXTO, 2015).

El tiempo de ejecución de las actividades de mantenimiento para recuperar la funcionalidad de los equipos (TTR), es definido como tiempo que demora una actividad de reparación desde la ocurrencia de la parada hasta que el equipo es recuperado.

Los tiempos que ocurren entre la parada y el retorno a la operación de un equipo se presentan en la siguiente tabla, según (KARDEK, & NASCIF, 2002).

Tabla 4-2 Tiempos de reparación

(To) Instante en que se verifica la falla	
1	Tiempo para la localización del defecto
2	Tiempo para el diagnóstico
3	Tiempo para el desmontaje (Acceso)
4	Tiempo para la remoción de la pieza
5	Tiempo de espera por repuestos (logístico)
6	Tiempo para la sustitución de piezas
7	Tiempo para el remontaje
8	Tiempo para ajustes y pruebas
(Tf) Instante de retorno del equipo a la operación	

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Fuente: KARDEX & NASCIF, 2002

Los autores de la tabla anterior sugieren que los tiempos de reparación incluyen tiempos relacionados con las características intrínsecas como también del soporte logístico y habilidades de los ejecutores del mantenimiento.

Tabla 5-2 Caracterización de tiempos correctivos

Tiempos relacionados con la reparación	Por características intrínsecas	Por soporte logístico	Por habilidades del personal
Tiempo para la localización del defecto	X		X
Tiempo para el diagnóstico	X		X
Tiempo para el desmontaje	X		X
Tiempo para la remoción de la pieza	X		X
Tiempo de espera por repuestos		X	
Tiempo para la substitución de piezas	X		X
Tiempo para el remontaje	X		X
Tiempo para ajustes y pruebas	X		X

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

La duración de la ejecución de una actividad de mantenimiento depende de muchos factores como: el nivel organizativo, la experiencia, capacidad y formación del personal de mantenimiento, el diseño y facilidad que presenta el elemento para la ejecución del mantenimiento, el contexto operativo donde está trabajando el elemento, condiciones como la humedad, el clima etc.

Un índice clave para la mantenibilidad es MTTR (Tiempo Medio Para Reparar) este tiempo contiene: el tiempo para analizar y diagnosticar la falla, el tiempo para conseguir la refacción, el tiempo de desmontaje, reparación, montaje y pruebas. El MTTR se lo obtiene dividiendo la sumatoria de los tiempos de reparación de uno o varios equipos para el número de reparaciones, en un período de tiempo de estudio, matemáticamente se lo expresa como:

$$MTTR = \frac{\sum_0^n TTR}{n} \quad \text{Ecuación 3-}$$

2

Dónde:

ΣTTR Sumatoria de los tiempos para reparar en un período de tiempo.

n Número de fallas o número de reparaciones.

Otros autores definen distintos métodos de cálculo para el MTTR, estas expresiones se las presenta más adelante.

El inverso de MTTR se le conoce como tasa de reparación, número de reparaciones por unidad de tiempo.

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \quad \text{Ecuación 4-2}$$

La tasa de reparación $\mu(t)$ en un instante t , mide la probabilidad que una entidad sea reparada en un intervalo $(t, t+\Delta t)$, número de reparaciones por unidad de tiempo (CABAU, 1996, pág. 4).

La duración de la ejecución de las tareas de mantenimiento es una variable aleatoria pues su duración depende de varios factores, definir aleatoria significa que la variable puede tomar cualquier valor.

Las variables aleatorias pueden ser discretas o continuas, las discretas toman valores enteros y las continuas pueden tomar valores infinitos. El tiempo para el fallo de una máquina o el tiempo de reparación son variables aleatorias continuas.

La función de la mantenibilidad $M(t)$ es la función de la distribución de la variable aleatoria “*Duración de la tarea de mantenimiento*”, representa la probabilidad de que una tarea de mantenimiento sea ejecutada satisfactoriamente en un tiempo especificado o antes:

$$M(t) = P(\text{tarea de mantenimiento se finalice en un tiempo } t, \text{ o antes})$$

$$M(t) = P(t_0 \leq t) \quad \text{Ecuación 5-2}$$

Dónde:

- P Probabilidad
- t_0 tiempo medido
- t tiempo de referencia

La probabilidad que una tarea que se ejecuta en un tiempo (t_0) sea inferior al tiempo (t) de referencia, puede ser representada también con la siguiente ecuación:

$$M(t) = \int_0^1 m(t) dt \quad \text{Ecuación 2.9}$$

Dónde:

$m(t)$ es la función de la densidad de la probabilidad de la duración de la tarea de mantenimiento.

En la siguiente figura 4-2 se representa la gráfica la mantenibilidad en función del tiempo.

Para el cálculo de la función de la mantenibilidad se puede utilizar algunas de las distribuciones conocidas: Exponencial, Normal, Log-normal, Weibull, etc. En la tabla 6,2 se presentan las ecuaciones para el cálculo de la mantenibilidad según las distribuciones más conocidas:

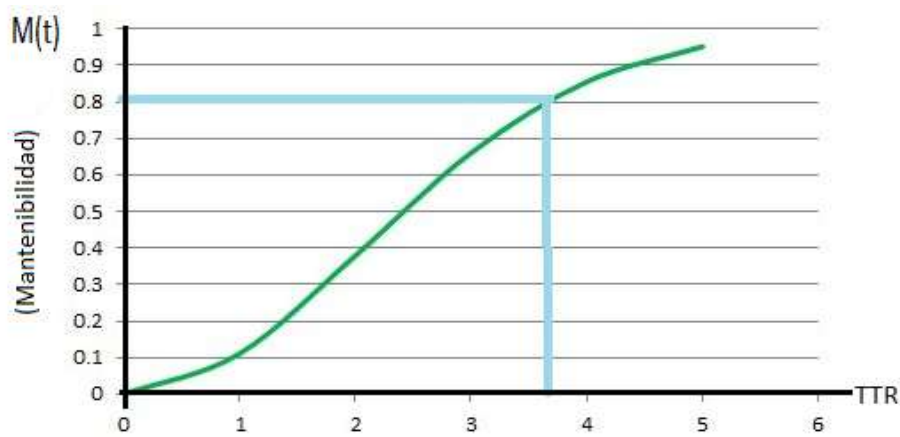


Figura 4-2 Función de la mantenibilidad

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015
Fuente: KENEZEVIC, Mantenibilidad, 1996

Tabla 6-2 Funciones de la mantenibilidad, distribuciones conocidas

Distribución	Función	Dominio
Exponencial	$1 - \exp(-t/\alpha)$	$t \geq 0$
Normal	$\Phi[(t-\alpha) / \beta]$	$-\infty < t < +\infty$
Log.Normal	$\Phi[\ln(t-\alpha) / \beta]$	$t \geq \alpha, t \geq 0$
Weibull	$1 - \exp[-(t-\alpha)^\beta / \alpha^\beta]$	$t \geq \alpha, t \geq 0$

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Dónde:

- α parámetro de escala
- β parámetro de forma
- γ parámetro de origen
- Φ función normal de la place

Las diferentes distribuciones tienen diferentes métodos para el cálculo del MTTR.

El cálculo del tiempo medio de reparación MTTR de acuerdo a las distribuciones más conocidas (exponencial, normal, log-normal y Weibull) están simbolizadas en la tabla 7-2:

Tabla 7-2 Tiempos para reparar, distribuciones conocidas

Distribución	Expresión
Exponencial	α
Normal	α
Log-normal	$\exp(\alpha + 1/2 \beta^2)$
Weibull	$\alpha \times \Gamma(1 + 1/\beta)$

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015
Fuente: KENEZEVIC, Mantenimiento, 1996

Dónde:

- Γ Es el símbolo de la función gamma.

2.5 Curva de la bañera o Davies

El comportamiento de las actividades de mantenimiento viene definido por parámetros, entre otros como la curva de la bañera o Davies (EBELING, 2005).

.

El comportamiento de la tasa de fallos (número de fallos por unidad de tiempo) de los equipos se la puede visualizar en tres etapas según (MORA, 2005).

- Etapa 1 parte de una tasa de fallos alta debido al arranque o puesta a punto de las máquinas, se denota muchas actividades correctivas y modificativas, la tasa de fallos va decreciendo mientras las instalaciones y la maquinaria se estabilizan y se ponen a punto
- Etapa 2 se identifica con una tasa de fallos constante o sea fallas independientes del tiempo, en esta fase no se denotan desgastes significativos. No existen desgastes significativos en las instalaciones y maquinaria.
- Etapa 3 hay un incremento paulatino de la tasa de fallos debido al envejecimiento de los equipos. Generalmente se detectan desgastes importantes en las instalaciones y maquinaria.

En estas 3 etapas, se identifica claramente con el comportamiento del parámetro de forma β de la distribución de Weibull:

- $B < 1$ es un signo de la mortalidad infantil, fallas no esperadas
- $\beta = 1$ indica fallas aleatorias no relacionadas con desgaste por envejecimiento
- $\beta > 1$ es un signo de desgaste fallas.

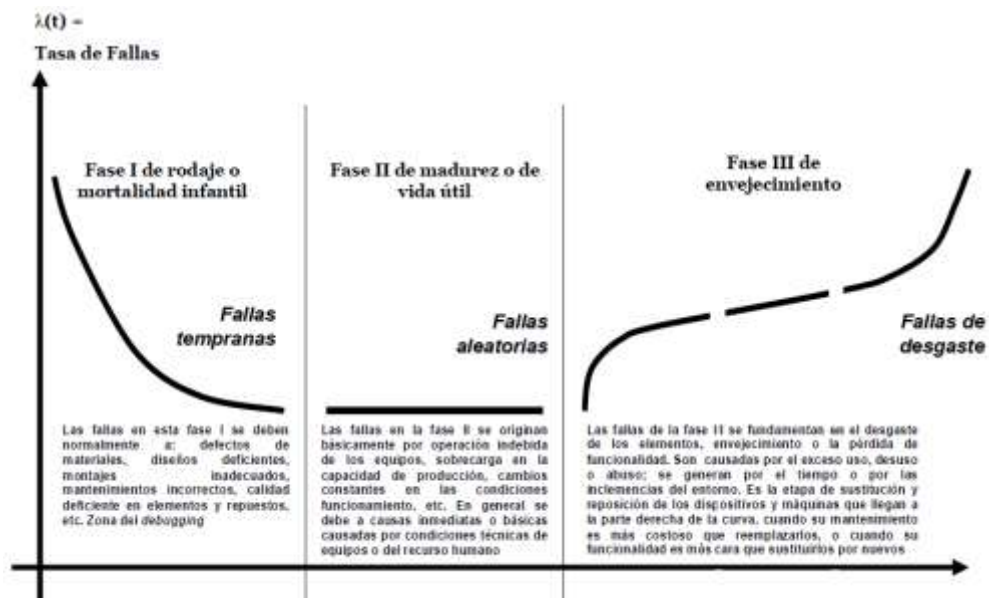


Figura 5-2 Curva de la bañera o Davies

Fuente: MORA, 2005

Ahora bien, cuando hablamos de mantenibilidad, el equivalente de la tasa de fallos es la tasa de reparación (μ), el comportamiento del parámetro para las tres etapas se sugiere en la tabla 8-2.

Tabla 8-2 Comportamiento de las tasas de reparación

Etapas 1 (puesta a punto)	Tasa de reparación alta debido a la tasa de fallos alta y al período de aprendizaje o poco conocimiento de las máquinas, poca información técnica, dificultad de conseguir repuestos). La tasa de reparación va decreciendo mientras solventamos estas desventajas
Etapas 2 (vida útil)	Tasa de reparación constante debido al conocimiento de la máquina, y el comportamiento de los fallos más comunes
Etapas 3 (desgaste)	Tasa de reparaciones creciente debido a daños más complejos de las máquinas debido al desgaste de las máquinas que requieren más tiempo y más recursos

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

En la bibliografía analizada no se encontró ningún autor que mencione el comportamiento de la tasa de reparaciones en el tiempo.

La tasa de fallos en todos los tipos de equipos no sigue siempre de forma estricta el comportamiento de la curva de la bañera, un ejemplo de esto son los equipos electrónicos, cuya tasa de fallos es constante en el tiempo. Lo mismo aplicaría al comportamiento de tasas de reparación porque depende de muchos parámetros como:

- Conocimiento de las máquinas.
- Preparación del personal de mantenimiento.
- Información técnica disponible.
- Logística de mantenimiento.
- Stocks de repuestos adecuado.
- Facilidad de cumplir con el mantenimiento.
- Diseño y simplicidad de las máquinas.
- Métodos de diagnóstico, etc.

La distribución de Weibull complementa a la distribución exponencial y a la normal, que son casos particulares de aquella. (TAMBORERO, 1994, pág. 1)

La distribución de Weibull es el método más adecuado para el análisis de la confiabilidad y la mantenibilidad probabilística, pues se adapta para todas las etapas descritas anteriormente.

2.6 Cálculo de la mantenibilidad usando la distribución de Weibull

La función de distribución de probabilidad Weibull es una expresión semi empírica desarrollada por Waloddi Weibull en el año de 1951, definida por tres parámetros:

1. α (Parámetro de escala): también llamado de vida característica representa el tiempo en que el 63,2 % de la muestra se ha reparado (para la mantenibilidad). El parámetro de escala, está en función del intercepto b de la recta de regresión.
2. β (Parámetro de forma): es la constante que controla la forma de la curva de las funciones de: densidad, de distribución, de la tasa de fallos. El parámetro de forma, β , es la pendiente de la recta de regresión.
3. γ (Parámetro de origen): indica, en el tiempo, a partir del cual se genera la distribución. Utilizado para proporcionar un mejor ajuste de la línea de regresión de los datos muestrales

En la revisión bibliográfica efectuada sobre la distribución de Weibull, la generalidad de los artículos la aplican como una distribución de dos parámetros omitiendo el parámetro de origen, es decir el que inicio de la distribución lo sitúa el eje las abscisas.

Para la distribución de Weibull se puede aplicar tres métodos de solución:

- Gráfico (utiliza papeles especiales diseñados como herramienta para obtener valores específicos).
- Gráfico Analítico (Combina el método gráfico combinado con técnicas analíticas).
- Método Analítico (procedimientos matemáticos rigurosos, con un alto grado de complejidad).

2.6.1 Pasos del proceso del cálculo gráfico analítico

1. Recolectar datos TTR (Tiempos de reparación).
2. Ordenar los datos (TTR) de menor a mayor.
3. Según el tamaño de la muestra calcular los rangos de las medianas.
4. Hallar los términos referenciales de la distribución.
5. Encontrar la regresión Lineal.
6. Hallar los parámetros de la función de Weibull.
7. Hallar de las medidas de la mantenibilidad según Weibull y graficarlas.
8. Hallar MTTR tiempo medio entre fallos según Weibull.

2.6.2 Ejemplo de cálculo

A continuación se detallan los pasos a seguir para solución del cálculo de Weibull.

2.6.2.1 Recolección de datos

La base de datos para el cálculo puede provenir, de históricos o de pruebas y ensayos realizados, la unidad de medida será cualquier unidad de tiempo.

2.6.2.2 Ordenar los datos de los tiempos de reparación

En la siguiente tabla se muestran los tiempos de reparación de los fallos ocurridos en un grupo de generadores en el lapso de un mes. Se ordenan los tiempos de reparación de menor a mayor independiente del tiempo de ocurrencia. La unidad de medida son horas.

Tabla 9-2 Datos ordenados de TTR (ejercicio)

Orden (n)	Valores ordenados por unidad de tiempo (t)
1	1,02
2	2,03
3	3,05

4	4,07
5	5,08
6	8,13
7	9,15
8	11,18
9	11,18
10	12,20
11	16,27

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

2.6.2.3 Calcular los rangos de las medianas

Para el cálculo del rango de las medianas se pueden usar tres fórmulas, deben ser seleccionadas dependiendo del tamaño de la muestra, en la siguiente tabla se presentan las alternativas:

Tabla 10-2 Rango de las medianas, según tamaño de la muestra

Número de datos De la muestra	Rango de la mediana
$N > 50$	$\mathfrak{m} = \frac{i}{N} = \frac{\sum ni}{N}$
$50 > N > 20$	$\mathfrak{m} = \frac{i}{N + 1}$
$N < 20$	$\mathfrak{m} = \frac{i - 0,3}{N + 0,4}$

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Fuente: TORRES, 2005

Dónde:

- i Número de orden de la muestra
- N Tamaño de la muestra
- \mathfrak{m} Rango de la mediana

En el ejemplo el tamaño de la muestra tiene 11 datos ($N < 20$), para el cálculo de las medianas se usa la siguiente expresión:

$$\mathfrak{m} = \frac{i-0,3}{N+0,4} \quad \text{Ecuación 10.2}$$

Para $n=1$ Tenemos:

$$\mathfrak{m} = \frac{1-0,3}{11+0,4} = 0,061403509$$

El cálculo se repite para todos los valores de n . El resultado del cálculo del rango de las medianas se presenta en la tabla 11-2.

Tabla 11-2 Rango de las medianas

Orden (n)	Valores ordenados por unidad de tiempo (t)	Mediana (m)
1	1,02	0,061403509
2	2,03	0,149122807
3	3,05	0,236842105
4	4,07	0,324561404
5	5,08	0,412280702
6	8,13	0,5
7	9,15	0,587719298
8	11,18	0,675438596
9	11,18	0,763157895
10	12,20	0,850877193
11	16,27	0,938596491

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

2.6.2.4 Cálculo de los datos para la distribución

La función de la mantenibilidad según la distribución de Weibull (ver Tabla 6-2) se define como:

$$M(t) = 1 - e^{-[(t-\gamma)/(\alpha-\gamma)]^\beta} \quad \text{Ecuación 7-2}$$

Considerando el parámetro de origen de los datos γ como 0 la ecuación queda simplificada como:

$$M(t) = 1 - e^{-[t/\alpha]^\beta} \quad \text{Ecuación 8-2}$$

Tomando los logaritmos neperianos por dos ocasiones se obtiene:

$$\ln \ln\{1/[1 - M(t)]\} = \beta \ln(t) - \beta \ln\alpha \quad \text{Ecuación 9-2}$$

La expresión obtenida se puede ser representar como la ecuación de una recta.

$$y = Bx + C$$

Dónde:

$$y = \ln \ln\{1/[1 - M(t)]\}$$

$$Bx = \beta \ln(t)$$

$$C = -\beta \ln\alpha$$

Para obtener las coordenadas para la linealización, se aplica:

Para el eje (Y): $\ln (\ln(1/(1 - \text{Rango Mediana})))$

Para el eje (X): $\ln(t)$

Los valores de las coordenadas (x;y), se calculan para cada uno de los tiempos de reparación (TTR), en el período de tiempo de estudio, aplicando las dos expresiones descritas anteriormente se realizan los cálculos que se presentan en la tabla 12-2.

Tabla 12-2 Cálculo de datos para la linealización

		y	x
Valores ordenados por unidad de tiempo	Mediana (m)	$\ln(\ln\left(\frac{1}{1 - \text{Rango Mediana}}\right))$	$\ln(t)$

(t)			
1,02	0,061403509	-2,758770808	0,016529302
2,03	0,149122807	-1,823327725	0,709676483
3,05	0,236842105	-1,308258602	1,115141591
4,07	0,324561404	-0,935491323	1,402823663
5,08	0,412280702	-0,632041114	1,625967214
8,13	0,5	-0,366512921	2,095970844
9,15	0,587719298	-0,120980941	2,213753879
11,18	0,675438596	0,11803237	2,414424575
11,18	0,763157895	0,364894181	2,414424575
12,20	0,850877193	0,643423761	2,501435952
16,27	0,938596491	1,026144924	2,789118024

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

2.6.2.5 Encontrar la regresión lineal

Con los datos obtenidos en la tabla anterior se presentan las coordenadas que serán graficadas.

Tabla 13-2 Serie de datos

	H	I
	Y	X
9	-2,758771	0,016529302
10	-1,823328	0,709676483
11	-1,308259	1,115141591
12	-0,935491	1,402823663
13	-0,632041	1,625967214
14	-0,366513	2,095970844
15	-0,120981	2,213753879
16	0,1180324	2,414424575
17	0,3648942	2,414424575
18	0,6434238	2,501435952
19	1,0261449	2,789118024

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Al trazar los puntos se obtiene la recta de la regresión. Se grafica de las coordenadas (serie de datos) con ayuda de la hoja de cálculo Excel. En el eje **Y** el doble logaritmo natural del rango de las medianas y en el eje **X** el logaritmo natural del tiempo de observación.

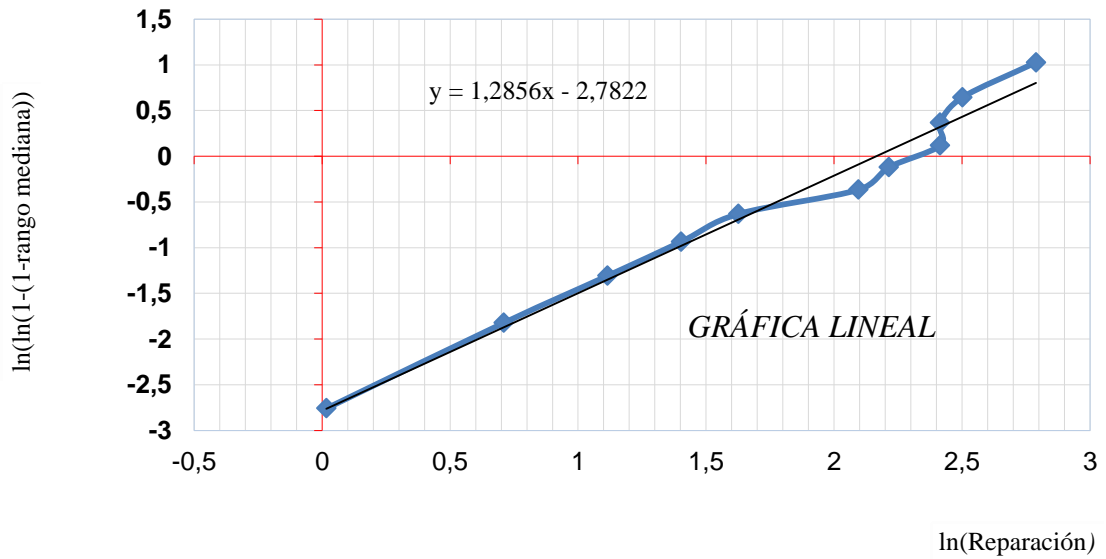


Figura 6-2 Linealización de la función

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

2.6.2.6 Hallar los parámetros de la función de Weibull.

El parámetro de forma β es la pendiente de la recta de regresión, se la obtiene con ayuda de la hoja de cálculo Excel aplicando la función:

PENDIENTE(SERIE DE DATOS)

PENDIENTE(H9:H19;I9:I19)ejemplo, Tabla 13-2

El valor de β calculado es:

$$\beta = 1,286$$

Para obtener el parámetro de escala α se calcula primero la intersección de la recta linealizada con el eje Y, en la hoja de cálculo Excel se aplica la siguiente función:

INTERSECCION.EJE(SERIE DE DATOS)

INTERSECCION.EJE(H9:H19;I9:I19)ejemplo, Tabla 13.2

$$\text{INTERCEPTO} = C = -2,782$$

Para obtener el parámetro de escala α se lo despeja de la siguiente expresión:

$$C = -\beta \ln \alpha \dots\dots\dots \text{(Ver Ecuación 13)}$$

$$-C/\beta = \ln \alpha$$

$$\alpha = e^{(-\frac{C}{\beta})}$$

$$\alpha = e^{(-\frac{-2,782}{1,286})}$$

$$\alpha = 8,707$$

Dónde:

C Intersección de la recta con el eje Y

β Parámetro de forma Weibull

El coeficiente de correlación, R, y el coeficiente de determinación, R², se constituyen en una prueba de bondad de ajuste para la recta de regresión.

El coeficiente de correlación indica que tan fuerte es la relación entre los datos, si es más cercana a 1, hay una fuerte dependencia lineal. Para determinar el coeficiente de correlación lineal R se puede emplear la función en la hoja de cálculo Excel:

PEARSON (matriz1; matriz2)

PEARSON(H9: H19; I9: I19).....ejemplo, Tabla 13.2

Donde:

La matriz 1 son los valores dependientes.

La matriz 2 son los valores independientes

El coeficiente de determinación es el cuadrado del coeficiente de correlación, este indica que porcentaje de los puntos están relacionados linealmente.

El coeficiente de determinación R² se lo puede obtener con la siguiente función en la hoja de cálculo Excel:

COEFICIENTE. R2 (conocido y; conocido x)

COEFICIENTE. R2 (H9: H19; I9: I19).....ejemplo, Tabla 13.2

Para el ejemplo obtenemos los siguientes valores:

$$R = 0,989$$

$$R^2 = 0,979$$

En nuestro ejemplo los valores de los coeficientes son excelentes.

Cuando los coeficientes de determinación y correlación son bajos se los puede mejorar al aplicar valores al parámetro de origen γ . Para este proceso debemos calcular la función de la mantenibilidad se puede usar la ecuación 9-2:

$$M(t) = 1 - e^{-[(t-\gamma)/(\alpha-\gamma)]^\beta} \dots\dots\dots(\text{ver Ecuación 11})$$

Se prueban diferentes valores para γ distintos a 0, hasta corregir los valores de los coeficientes de determinación y de correlación, para iniciar las pruebas se recomienda empezar un valor ligeramente inferior al del tiempo de reparación más pequeño de la muestra.

En la tabla 14-2 se muestra los criterios de aceptación del coeficiente de correlación.

Tabla 14-2 Valoración coeficiente de correlación

Coeficiente de correlación	Calificación
$0,9 < R \leq 1$	Excelente
$0,8 < R \leq 0,9$	Buena
$0,6 < R \leq 0,8$	Aceptable
$R \leq 0,6$	Mala

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Fuente: ZABALA, 2004

2.6.2.7 Hallar y graficar los valores de la mantenibilidad

En el ejemplo se calcula $M(t)$ aplicando la ecuación 8-2, reemplazamos los valores de los parámetros de escala y de forma calculados, asumimos varios valores para el tiempo de estudio (t) y obtenemos los valores de las probabilidad de reparación

$$M(t) = 1 - e^{-[t/\alpha]^\beta}$$

Tabla 15-2 Cálculo de la mantenibilidad

X	t (horas)	5	10	15	20	30	35	40	45	60	65
Y	M (t)	0,27	0,58	0,79	0,91	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00
	%	27,47	58,09	78,93	90,5	98,52	99,48	99,83	99,95	100	100

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Para calcular directamente los valores de $M(t)$, en la hoja de cálculo Excel se aplica la siguiente función:

DIST.WEIBULL(t ; β ; α ; VERDADERO)

DIST.WEIBULL(5; 1,4368; 11,074; VERDADERO)..... Ejemplo

Dónde:

- t Tiempo
- β Parámetro de forma Weibull
- α Parámetro de escala Weibull

Si se produce una nueva avería en uno de los generadores. La probabilidad que el equipo sea reparado en un tiempo de 5 horas es del 27,47%, evaluando un tiempo de 15 horas la probabilidad sube al 78,93% y a partir de 35 horas la probabilidad de reparación es muy cercana al 100%. Se grafica los puntos para obtener la curva de la mantenibilidad. En las abscisas $M(t)$ y los tiempos a proyectados de la reparación en las ordenadas:

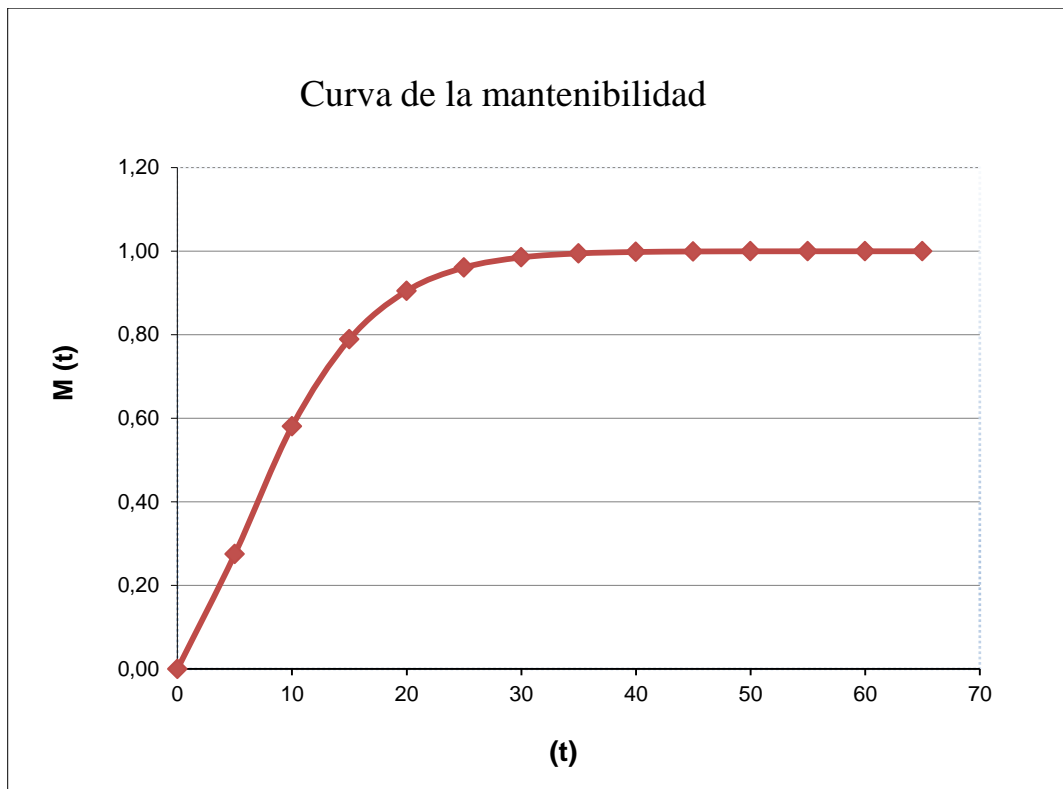


Figura 7-2 Curva de la Mantenibilidad, ejercicio
 Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

2.6.2.8 Calcular MTTR

Para calcular MTTR (tiempo medio de reparaciones) según la distribución de Weibull aplicaremos a fórmula descrita en la tabla 7-2.

$$MTTR = \alpha \times \Gamma(1 + 1/\beta)$$

Γ Distribución Gamma

En Excel se puede obtener el MTTR aplicando la siguiente función:

$$\alpha * EXP(GAMMA.LN(1 + \frac{1}{\beta}))$$

Tomando los valores calculados de β y α .

β	BETA (Parámetro de forma) =	1,29
α	ALPHA (Parámetro de escala) =	8,71

$$MTTR = 8,71 \times \Gamma (1+1 /1,29)$$

$$MTTR = 8,06 \text{ h}$$

La tasa de reparaciones es el inverso el MTTR:

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

$$\mu = \frac{1}{8,06} = 0.12 \text{ Reparaciones/h}$$

2.7 Mantenibilidad intrínseca

La mantenibilidad contribuye de manera fundamental a la seguridad de funcionamiento (en inglés dependability). El término seguridad de funcionamiento expresa un concepto general, sin carácter cuantitativo, que engloba al conjunto de propiedades utilizadas para describir la disponibilidad de un dispositivo y los factores que la condicionan: fiabilidad, recuperabilidad, mantenibilidad y logística de mantenimiento. (AENOR UNE 151001, 2011, pág. 4).

El término dependability no tiene una traducción lineal al español, por ello lo que más lo engloba es la gestión de la confiabilidad como disciplina. Dependability (AENOR UNE-IEC 60300-3-10, 2007, pág. 11).

Por lo descrito en la norma podemos decir; que la mantenibilidad es la capacidad de los activos industriales para ser conservados o mantenidos. Esta característica viene dada desde el diseño del dispositivo. En el análisis de los indicadores de la norma toma en cuenta también factores como el medio y las condiciones en que el dispositivo va a funcionar, detalles como el montaje, la manera de operar y las condiciones ambientales.

Toda empresa debe definir la política de mantenimiento que va a aplicar a cada uno de sus bienes, que mantenimiento realizará y quien lo va a ejecutar. Si el mantenimiento va a ser ejecutado en el sitio de operación, en el taller de reparaciones o en talleres autorizados externos, lo último depende de la preparación y habilidades del personal de mantenimiento.

La norma UNE 151001 ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 151. Este documento contiene un procedimiento que permite calcular indicadores de mantenibilidad para dispositivos industriales teniendo en cuenta las condiciones de utilización de los mismos.

La mantenibilidad puede ser cuantificada usando adecuadas medidas o indicadores. Estas medidas o indicadores se definen como “desempeño de la mantenibilidad”. La norma UNE 151001 da respuesta definiendo indicadores y describiendo la manera de calcularlos.

El primer concepto que maneja la norma es hacer una clasificación de las actividades de mantenimiento por niveles de acuerdo a la complejidad de las mismas.

La norma propone 5 niveles de mantenimiento: en el nivel 1 están acciones simples de mantenimiento sin parada del dispositivo como ajustes, lubricaciones, sin montajes o desmontajes de componentes, en el nivel 2 están actividades de mantenimiento preventivo o correctivo con intercambio de piezas funcionales, en el nivel 3 están actividades que luego del paro de la máquina procede a la identificación de fallas funcionales, en el nivel 4 están las actividades de mantenimiento preventivo o correctivo que comprenden desmontajes totales o parciales importantes del dispositivo y el nivel 5 están las renovaciones o reconstrucciones de un dispositivo que aumentan su tiempo de vida.

2.8 Niveles de mantenimiento

En la siguiente tabla podemos apreciar los niveles de mantenimiento definidos en la norma UNE 151001.

Tabla 16-2 Niveles de mantenimiento

Nivel	Descripción	Personal requerido	Medios	Tiempo de indisponibilidad estimado
--------------	--------------------	---------------------------	---------------	--

1	Acciones simples de mantenimiento sin parada del dispositivo	Operadores o personal de mantenimiento de planta	Herramientas comunes definidas en las instrucciones	Ninguno
2	Acciones de mantenimiento con intercambio de componentes funcionales	Operadores o personal de mantenimiento de planta	Herramientas comunes definidas en las instrucciones piezas de repuesto habituales	Minutos
3	Identificación y diagnóstico de fallos	Personal de mantenimiento especializado de planta y/o de empresas especialistas	Herramientas y aparatos de medida, prueba, ensayo, etc.	Horas
4	Revisiones	Equipo formado por técnicos especializados. En un taller de mantenimiento especializado, en la planta o fuera de ella	Herramientas especializadas en general, aparatos de ensayo, de control, etc.	Días
5	Renovación, reconstrucción y/o reparación importante	Equipo completo polivalente. En el taller central del fabricante	Medios próximos a la fabricación del elemento en estudio, propiedad del fabricante	Semanas

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Fuente: AENOR UNE 151001, 2011

2.9 Atributos de la mantenibilidad

La norma Une 151001 define los atributos de la mantenibilidad de los dispositivos dividiendo en tres grandes grupos: los atributos relacionados con el diseño del dispositivo, los atributos relacionados con el personal de mantenimiento y las condiciones de trabajo y los atributos relacionados con el apoyo logístico, se los resume en la siguiente tabla.

Tabla 17-2 Atributos de la mantenibilidad

Atributos relacionados con el diseño del dispositivo	a	Accesibilidad	Acceso a los elementos a ser mantenidos
	b	Montaje/Desmontaje	Facilidad con la que se puede retirar y reemplazar elementos
	c	Estandarización	Compatibilidad de las piezas de repuesto con otros similares
	d	Simplicidad	Escasos elementos o ensamblajes excesivos
	e	Identificación	Clara identificación de elemento a ser mantenidos
	f	Vigilancia	Identificación de parámetros críticos y alarmas para prevenir fallos
	g	Modularización	Unidades separadas minimizan el tiempo de

			desmontaje
	h	Tribología	Facilidad para actividades tribológicas
Atributos relacionados con el personal y las condiciones de trabajo	a	Ergonomía	Requerimientos de espacio para las condiciones de trabajo
	b	Formación	Aptitud requerida por el personal para realizar el trabajo
	c	Entorno	Condiciones ambientales y de entorno para realizar el trabajo en condiciones adecuadas y con seguridad
Atributos relacionados con el soporte logístico	a	Repuestos	Almacenamiento y manipulación de repuestos
	b	Herramientas	Requisitos de las herramientas facilidad, ergonomía y adquisición
	c	Documentación	Indicaciones dadas por el fabricante para efectuar el mantenimiento
	d	Relación con Fabricante	Coordinación entre el personal de mantenimiento y el fabricante
	e	Organización de personal	Cantidad de personas requeridas para la ejecución del mantenimiento
	f	Coordinación interdepartamental	Necesidad de coordinación con otros departamentos

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Fuente: AENOR UNE 151001, 2011

Para facilidad de cálculo, los atributos de mantenibilidad de la Norma 151001, los atributos relacionados con el diseño, los atributos relacionados con el personal y las condiciones de trabajo y los atributos relacionados con el soporte logístico mencionados en la Tabla 17-2 se los divide en dos grupos:

- Los atributos generales que no dependen de los niveles de mantenimiento.
- Los atributos específicos que debe ser evaluados para cada nivel de mantenimiento.

Tabla 18-2 Atributos generales específicos

Atributos generales		
Simplicidad	Diseño	G1
Identificación	Diseño	G2
Modularización	Diseño	G3
Tribología	Diseño	G4
Ergonomía	Personal de mantenimiento	G5
Estandarización	Diseño	G6
Vigilancia	Diseño	G7
Relación con el fabricante	Apoyo Logístico	G8
* No dependen del nivel de mantenimiento		
Atributos específicos		
Accesibilidad	Diseño	V1
Montaje/desmontaje	Diseño	V2
Formación	Personal de mantenimiento	V3
Organización del personal	Apoyo Logístico	V4
Entorno	Personal de mantenimiento	V5
Repuestos	Apoyo Logístico	V6
Herramientas y útiles	Apoyo Logístico	V7

Coordinación interdepartamental	Apoyo Logístico	V8
* Dependen del nivel del mantenimiento		

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015
Fuente: AENOR UNE 151001, 2011

La norma pretende evaluar cada uno de los atributos dividiéndolos en dos grupos, los atributos generales que son independientes del nivel de mantenimiento y están relacionados con el diseño del dispositivo y los atributos específicos que deben ser evaluados para cada nivel de mantenimiento y están relacionados con el soporte logístico. Los atributos deben evaluarse en función de las aptitudes del dispositivo y no de las aptitudes de la organización. En la siguiente figura se muestra la clasificación de los atributos generales y específicos que se pretende evaluar.



Figura 8-2 Atributos de la mantenibilidad

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015
Fuente: AENOR UNE 151001, 2011

2.10 Ejemplo para el cálculo de atributos de la mantenibilidad

Para el cálculo de los atributos se debe utilizar el siguiente algoritmo; Cada atributo debe ser evaluado en una escala de 0 a 4, luego se asigna la importancia que cada atributo tiene para la mantenibilidad también en una escala de 0 a 4. Para el cálculo del peso de cada atributo dividimos la importancia de cada atributo para la sumatoria de la importancia de todos los atributos. Para calcular el índice de cada atributo multiplicamos la evaluación del atributo por el peso de cada atributo. Finalmente sumamos las ponderaciones de cada atributo y obtenemos el indicador total.

El cálculo aplica para los atributos generales y para los atributos específicos para cada nivel de mantenimiento, un ejemplo del cálculo se presenta en la tabla 19-2.

Tabla 19-2 Cálculo de atributos de la mantenibilidad

Atributo General		Evaluación del atributo	Importancia para la mantenibilidad	Cálculo del peso	Peso
		Gi (0a 4)	PGi (0a4)	$\frac{PGi}{\sum PGi}$	$Gi \times (\frac{PGi}{\sum PGi})$
G1	Simplicidad	3	3	0,15	0,45
G2	Identificación	2	1	0,05	0,1
G3	Modularización	3	2	0,1	0,3
G4	Tribología	1	2	0,1	0,1
G5	Economía	3	4	0,2	0,6
G6	Estandarización	3	4	0,2	0,6
G7	Vigilancia	4	3	0,15	0,6
G8	Relación con el fabricante	4	1	0,05	0,2
Total			20	1	
Indicador de mantenibilidad General					2,95

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015
Fuente: AENOR UNE 151001, 2011

Se puede graficar la evaluación de los atributos en un diagrama tipo radar para una visualización rápida. La norma en los gráficos toma el valor de la calificación de la evaluación del atributo, no el peso del atributo.

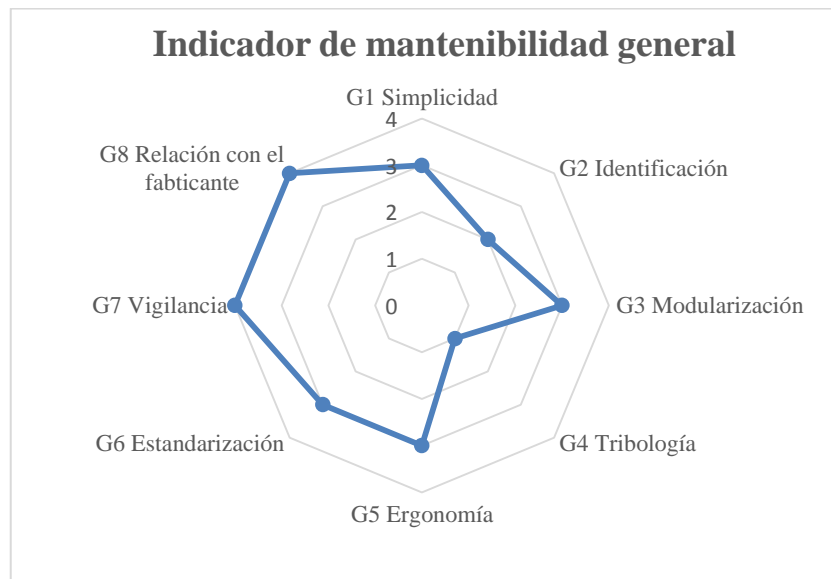


Figura 9-2 Gráfico de atributos

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015
Fuente: AENOR UNE 151001, 2011

*Las tablas con las escalas de evaluación de cada uno de los atributos están detalladas en el Anexo A.

CÁPITULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de la investigación

Se define cuatro tipos de metodologías para desarrollar una investigación: Exploratorios, descriptivos, correlacionales y explicativos según (HERNÁNDEZ, FERNÁNDEZ, & BATISTA, 2004, pág. 59).

Los estudios descriptivos miden, evalúan o recolectan datos sobre aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno a investigar (HERNÁNDEZ, FERNÁNDEZ, & BATISTA, 2004, pág. 60)

El tipo de estudio entra en la categoría de descriptivo cuantitativo. La recolección de los datos de para el presente estudio son tomados de registros históricos almacenados en el sistema de mantenimiento que posee la empresa, los cuales serán estudiados, ordenados y cuantificados. El estudio tiene un enfoque directamente cuantitativo porque el análisis de los datos pretende medir y estimar comportamientos probabilísticos futuros, además se pretende cuantificar características cualitativas intrínsecas (dadas por diseño) de los dispositivos.

El enfoque cualitativo utiliza la recolección y el análisis de datos para contestar preguntas y probar la hipótesis previamente hecha, confía en la medición numérica, el conteo y frecuentemente el uso de estadística para establecer con exactitud patrones de comportamiento de una población (HERNÁNDEZ, FERNÁNDEZ, & BATISTA, 2004, pág. 192).

El diseño de la investigación puede ser de carácter experimental y no experimental. El diseño no experimental se realiza sin la manipulación deliberada de variables y en los que sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para después analizarlos (HERNÁNDEZ, FERNÁNDEZ, & BATISTA, 2004, pág. 191).

El carácter no experimental puede ser de dos tipos: Transaccionales (Transversales) y longitudinales, el carácter trasversal recolecta datos en un momento único a diferencia de carácter longitudinal analiza la información a través del tiempo (HERNÁNDEZ, FERNÁNDEZ, & BATISTA, 2004, pág. 186).

Esta investigación entra en carácter no experimental pues no existe manipulación de las variables, los datos de los tiempos de reparación provienen de históricos registrados en el Software de mantenimiento (SisMAC) que utiliza la empresa.

La recolección como el análisis de los datos para el cálculo de la mantenibilidad (tiempos de las reparaciones) se los hizo en diferentes períodos de tiempo (mensualmente desde el 01/01/2015 hasta 31/10/2015).

Este tipo de investigación que se hace a lo largo del tiempo se lo define como de carácter longitudinal.

La evaluación de los atributos de la mantenibilidad, son cualidades que se pretende cuantificar en los equipos, si bien se lo hace en un momento determinado, éstas deberán realizarse periódicamente.

3.2 Población y muestra

Para el análisis de la mantenibilidad probabilística se considerarán un total de 91 equipos de tres marcas: Caterpillar (51 equipos), Cummins (30 equipos) y Mtu (10 equipos), de varios modelos y con potencias que van desde los 250 kVA hasta los 2,281 kVA como se muestra en la tabla 1-3.

Para el análisis de los atributos generales y específicos de la mantenibilidad, se seleccionaron un modelo por marca, las potencias de los equipos seleccionados son similares, para poder compararlos entre si y así evaluar la marca y modelo que mejor se comporta.

- Caterpillar C15 de 569 kVA.
- Cummins SC500C de 500 kVA.
- Mtu P410 de 512 kVA.

Tabla 1-3 Lista de equipos analizados

Caterpillar			Cummins			Mtu		
Modelo	Potencia (kVA)	Cant.	Modelo	Potencia (kVA)	Cant.	Modelo	Potencia (kVA)	Cant.
C15	569	1	SC500CC6S	500	30	P410	512	10
3412	906		SC350	350		P635	792	
3508	900		SC500CC6S	500		P845	1056	
3512B	1825		TC 235T	235				
3516B	2500		TC270SH	270				
C15	569		ZC-C200	200				
C18	700		ZC-C240	240				
C27	906							
C32	1137							
XQ1000	1250							

XQ2000	2281	
--------	------	--

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

3.3 Diseño de la investigación

Inicialmente la investigación consistirá en la revisión Normas e información técnica bibliográfica, informes relacionados con la mantenibilidad de equipos. Enfocándose tanto en una metodología cualitativa y cuantitativa

Luego de la revisión, se seleccionará las técnicas para el análisis de la mantenibilidad, se integrarán los conocimientos; y con un enfoque de proceso se generará la propuesta metodológica.

Se obtendrán muestras de información de la empresa relacionada, para aplicar la metodología seleccionada para el cálculo de la mantenibilidad.

Para el levantamiento de esta información se desarrollarán formatos. La información se obtendrá de los datos históricos de la empresa Poweron y de ser necesario de los coordinadores y ejecutores del mantenimiento. Finalmente se presentarán los resultados sintetizados de la información.

CAPÍTULO IV

4. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Cálculo de la probabilístico de la Mantenibilidad.

Para el análisis probabilístico de la mantenibilidad se han definido tres tipos de estudios:

- Mantenibilidad general
- Mantenibilidad por marca

- Mantenibilidad por tipo de falla

4.1.1 *Cuantificación de la mantenibilidad general.*

El primero estudio de mantenibilidad probabilística será llamado mantenibilidad general, se toma de toda la muestra de 91 equipos y se calcula el índice de mantenibilidad mensualmente, en un periodo de 10 meses, desde enero a octubre del año 2015, utilizando el método de la función de mantenibilidad según Weibull.

El objetivo de este primer análisis es estudiar el comportamiento de los parámetros probabilísticos de la mantenibilidad, ver el comportamiento de los parámetros de la distribución de Weibull y verificar el comportamiento del MTTR (Tiempo medio para reparar) a lo largo del tiempo de estudio. Todo proceso de evaluación requiere un punto de partida con el cual comparar el comportamiento de los indicadores, este estudio inicial busca determinar un punto de comparación de los parámetros a evaluarse para futuras comparaciones y así verificar la efectividad de las acciones tomadas.

En esta evaluación no se discrimina marcas ni modelos de los grupos electrógenos, además no se considera el tipo de falla (mecánicas, eléctricas, electrónicas, etc.).

Los datos de los tiempos de reparación de cada uno de los eventos de falla ocurridos fueron tomados de la consulta de Órdenes de Trabajo del software de Mantenimiento SisMAC.

Tabla 1-4 Tamaño de la muestra

Tamaño de la muestra	Periodo del análisis	Fuente de datos
91 equipos	Del 01/01/2014 al 31/10/2015	Software de mantenimiento SisMAC

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Fuente: SisMAC, Sistema de mantenimiento, 2015

En la Tabla 2-4 se muestra el número eventos de reparación y los tiempos de reparación en unidades de hora y de fracción de hora. Los datos están ordenados de menor a mayor independientes del tiempo de ocurrencia en el mes.

Tabla 2-4 Tiempos de reparación

Tiempos de reparación

Número de eventos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
Tiempos de reparación en horas										
1	0,32	0,5	0,32	1,00	1,42	0,32	1,02	1,00	0,32	1,07
2	0,50	0,8	0,50	1,57	3,00	0,67	2,03	2,00	1,17	3,00
3	0,50	1,0	0,50	2,00	4,50	1,00	3,05	2,02	2,00	6,00
4	0,67	2,0	1,00	6,00	5,00	2,00	4,07	3,00	3,00	7,40
5	1,00	2,0	1,00	8,50	6,00	2,75	5,08	3,07	4,00	7,87
6	1,50	3,0	3,50	9,00	8,82	3,32	8,13	4,50	4,00	7,95
7	1,67	10,5	5,00	9,15	9,00	5,00	9,15	6,00	7,82	7,97
8	2,00	15,4	5,00	9,92	9,87	8,00	11,18	7,00	10,77	8,00
9	2,00	16,8	6,00	10,00	10,52	16,10	11,18	8,30	13,00	8,48
10	2,45	17,2	7,60	19,90	11,72	21,02	12,20	8,70	14,97	9,62
11	2,45	17,3	7,77	21,47	15,10	21,37	16,27	9,00	21,90	10,30
12	2,50	17,3	8,12	21,72	15,92	-	-	9,70	47,50	10,32
13	4,00	20,5	8,25	22,17	18,30	-	-	10,52	56,00	10,62
14	6,32	22,2	16,57	22,22	21,20	-	-	11,22	74,50	14,77
15	22,52	22,3	17,92	23,22	21,67	-	-	14,05	-	16,32
16	-	22,5	19,82	-	22,62	-	-	21,2	-	17,52
17	-	22,52	21,42	-	23,3	-	-	79,37	-	19,52
18	-	-	21,72	-	-	-	-	-	-	20,17
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Fuente: SisMAC, Sistema de mantenimiento, 2015

De los datos se puede observar que el tiempo de reparación más corto fue de 0,32 h, mientras que el tiempo de reparación más largo fue de 79,32 h. El mes que hubo menos eventos de falla o reparación fue noviembre con 11 eventos y el mes que hubo más eventos de reparación fue octubre con 19 sucesos. A continuación el investigador muestra el cálculo mensual de los parámetros:

Mes: Enero

Los tiempos de reparación del mes de enero se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3-4 Tiempos de reparación enero 2015

Enero														
Tiempos de reparación horas														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,32	0,5	0,5	0,67	1	1,5	1,67	2	2	2,45	2,45	2,5	4	6,32	22,52

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Cálculo de las coordenadas para la Linealización según la distribución de Weibull del mes de enero están disponible en el anexo B. Se grafica las coordenadas y se obtiene la recta:

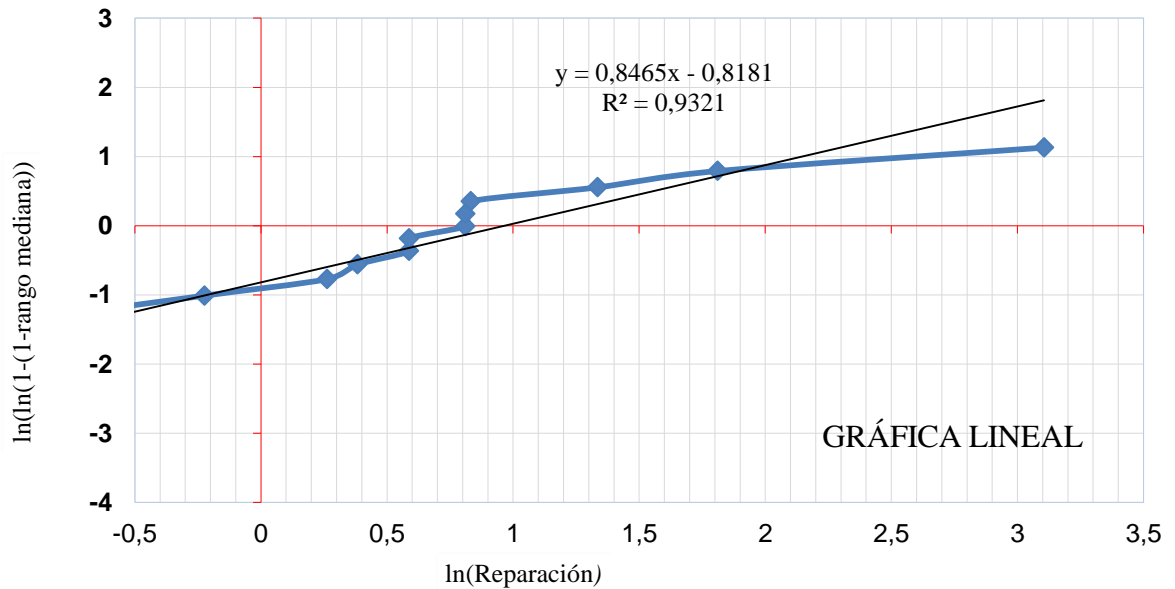


Figura 1-4 Linealización enero 2015

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Parámetros de forma y de escala:

Intercepto	-0,8181
β	0,846
α	2,629

Coeficientes de determinación y correlación excelente > 0.9 .

R 0,965429034

R² 0,932053219

Se ensayan varios valores de tiempos y se obtiene la curva de la mantenibilidad:

$$M(t) = 1 - e^{-[t/\alpha]^\beta}$$

Tabla 4-4 Datos función de la mantenibilidad enero 2015

X	Tiempo (h)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	13	15	16	18	19

Y	M(t)	0,22	0,55	0,67	0,76	0,82	0,87	0,90	0,92	0,94	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	1,00
	%	21,8	54,8	67,3	76,0	82,2	86,6	89,9	92,3	94,1	97,3	97,9	98,7	99,0	99,4	99,5

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

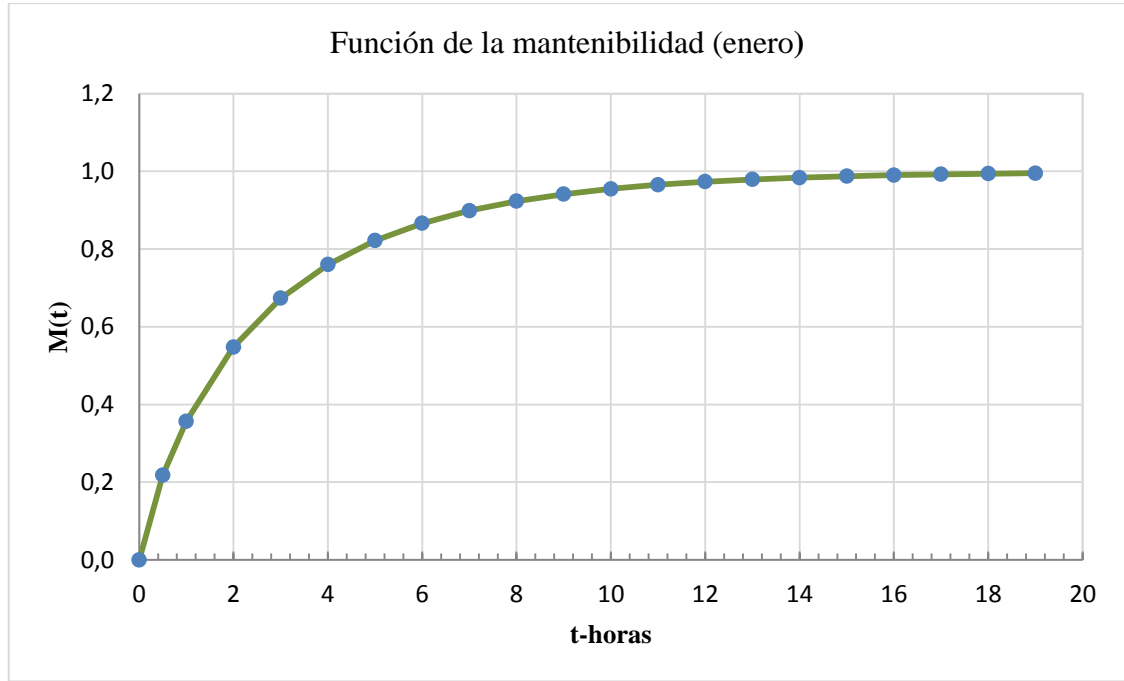


Figura 2-4 Función de la mantenibilidad enero 2015

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Tiempo medio de reparación:

$$MTTR \text{ (enero)} = \alpha \times \Gamma (1+1/\beta)$$

$$MTTR \text{ (enero)} = 2,87 \text{ h}$$

$$\mu = 0,35 \text{ reparaciones/h}$$

Mes: Febrero

Los tiempos de reparación del mes de febrero se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5-4 Tiempos de reparación febrero 2015

Febrero																
Tiempos de reparación - horas																
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
0,5	0,8	1,0	2,0	2,0	3,0	10,5	15,4	16,8	17,2	17,3	17,3	20,5	22,2	22,3	22,5	22,5

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Cálculo de las coordenadas para la Linealización según la distribución de Weibull del mes de febrero están disponible en el anexo B. Se grafica las coordenadas y se obtiene la recta:

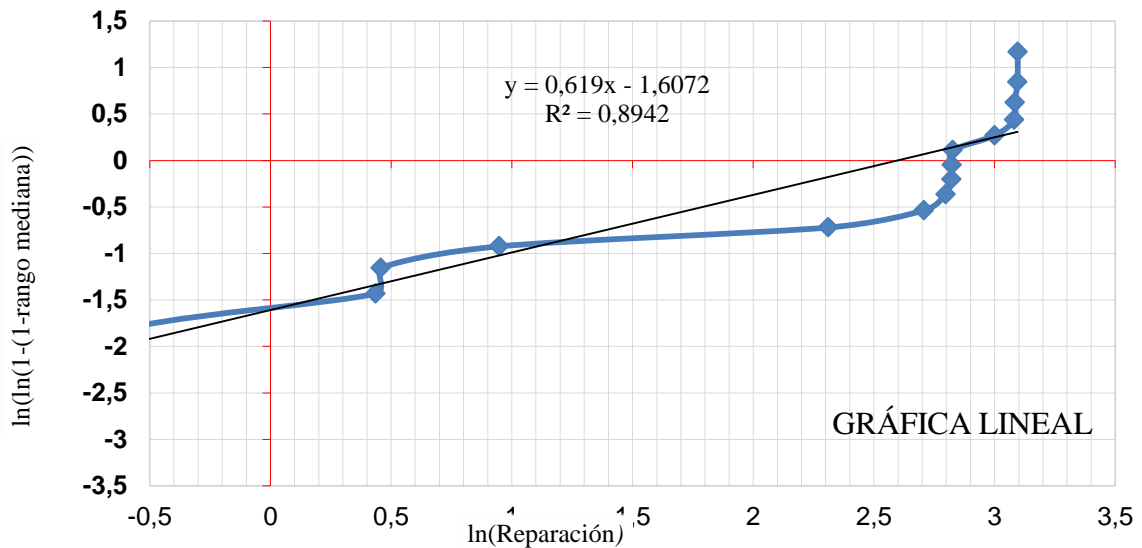


Figura 3.4 Linealización febrero

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Parámetros de forma y de escala.

Intercepto	-1,6072
β	0,619
α	13,417

Coefficientes de determinación y correlación muy buena > 0.9 .

R	0,94
R²	0,89

Se ensayan varios valores de tiempos y se obtiene la curva de la mantenibilidad:

$$M(t) = 1 - e^{-[t/\alpha]^\beta}$$

Tabla 6-4 Datos función de la mantenibilidad febrero 2015

X	Tiempo (h)	5	10	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	140
Y	M(t)	0,42	0,57	0,72	0,77	0,81	0,84	0,86	0,88	0,90	0,91	0,92	0,94	0,9
	%	41,9	56,6	72,2	77	80,7	83,6	86	87,9	89,5	90,9	92	93,8	98

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

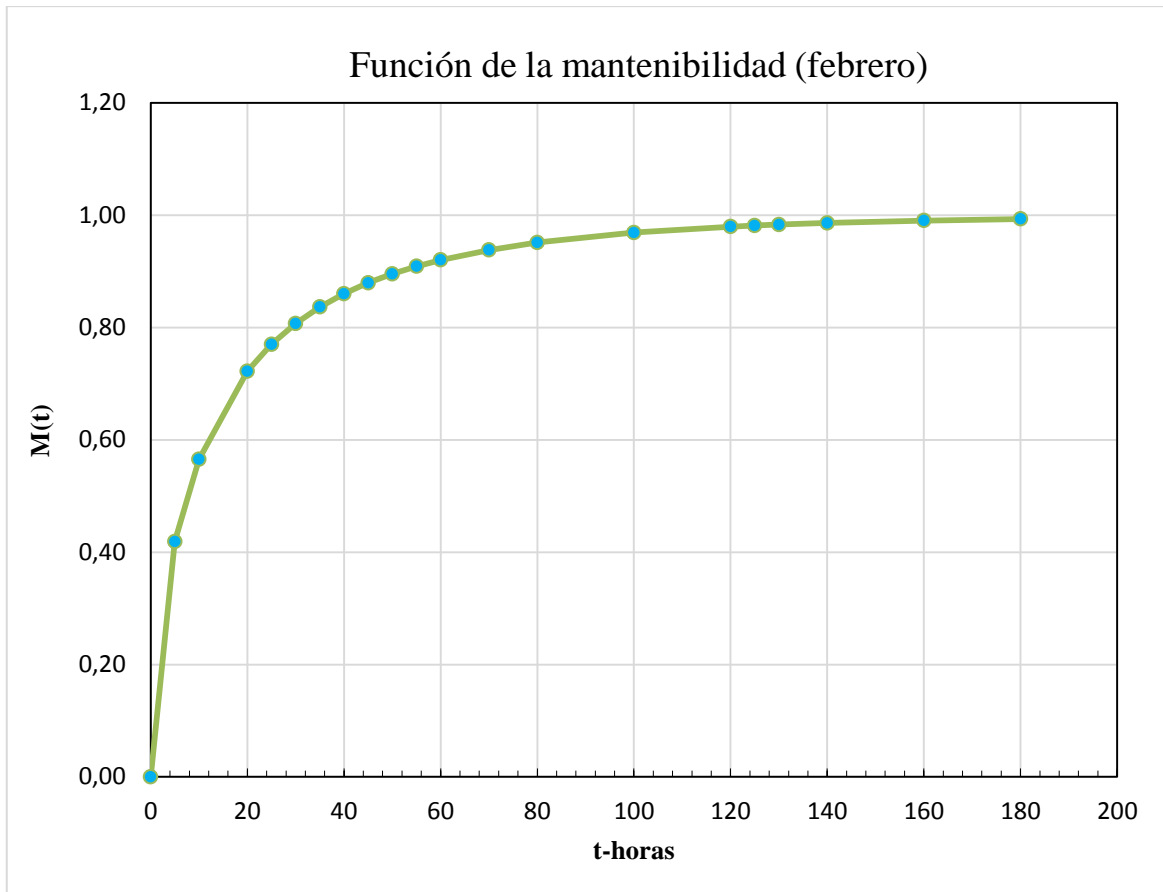


Figura 4-4 Función de la mantenibilidad febrero 2015

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Tiempo medio de reparaciones:

$$MTTR \text{ (febrero)} = \alpha \times \Gamma (1+1/\beta)$$

$$MTTR \text{ (febrero)} = 19.41 \text{ h;}$$

$$\mu = 0,51 \text{ reparaciones/h}$$

Mes: Marzo

Los tiempos de reparación del mes de marzo se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 7-4 Tiempos de reparación marzo 2015

Marzo																	
Tiempo de reparación en horas																	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
0,3	0,5	0,5	1,0	1,0	3,5	5,0	5,0	6,0	7,6	7,8	8,1	8,3	16,6	17,9	19,8	21,4	21,7

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Cálculo de las coordenadas para la Linealización según la distribución de Weibull del mes de marzo están disponible en el anexo B. Se grafica las coordenadas y se obtiene la recta:

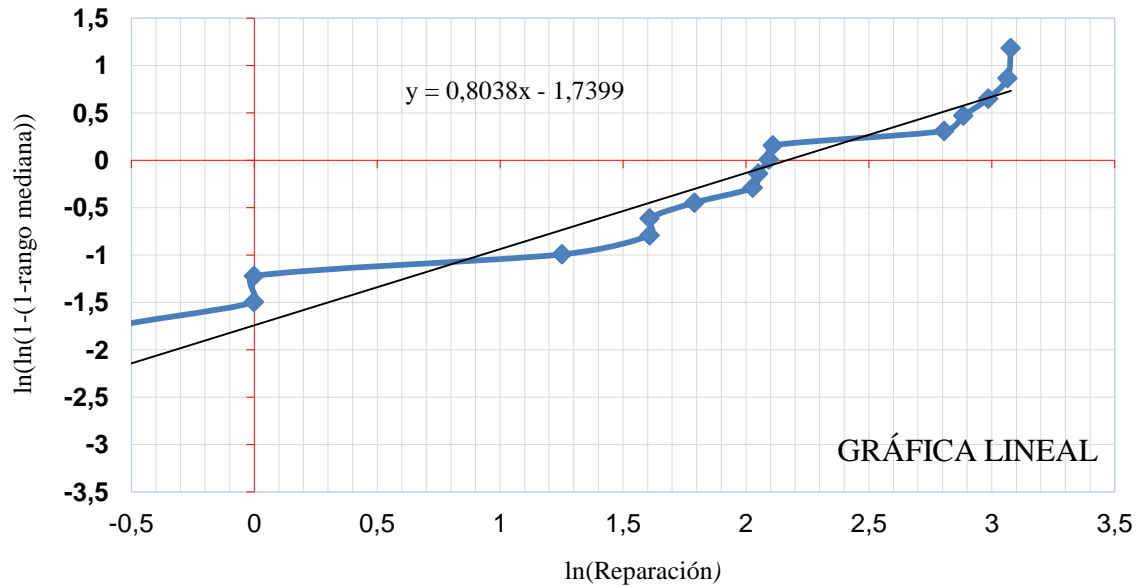


Figura 5-4 linealización marzo

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Parámetros de forma y de escala.

Intercepto -1,7399
 β 0,804
 α 8,712

Coefficientes de determinación y correlación excelente > 0.9.

R 0,97
R² 0,94

Se ensayan varios valores de tiempos y se obtiene la curva de la mantenibilidad:

$$M(t) = 1 - e^{-[t/\alpha]^\beta}$$

Tabla 8-4 Datos función de la mantenibilidad marzo 2015

X	Tiempo (h)	5	10	12	15	20	25	30	35	40	45	55

Y	M(t)	0,47	0,67	0,73	0,79	0,86	0,90	0,93	0,95	0,97	0,98	0,99
	%	47	67,3	72,6	79	85,8	90,3	93,3	95	96,7	97,6	98,8

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

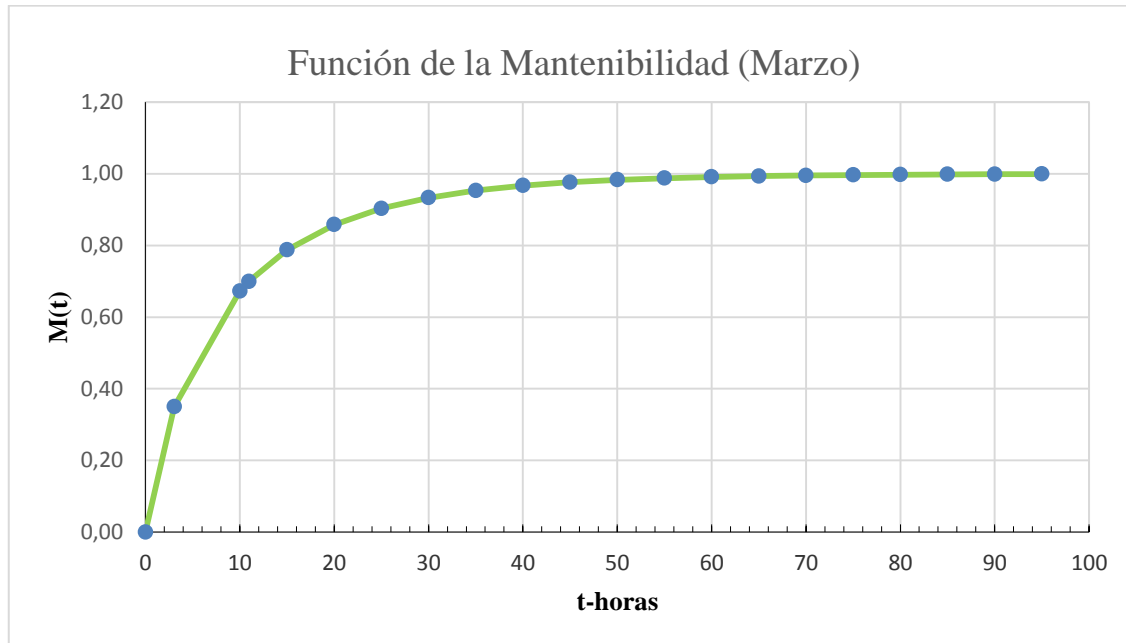


Figura 6-4 Función mantenibilidad marzo 2015

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Tiempo medio de reparaciones:

$$MTTR (\text{marzo}) = \alpha \times \Gamma (1+1/\beta)$$

$$MTTR (\text{marzo}) = 9.83 \text{ h}$$

$$\mu = 0,10 \text{ reparaciones/h}$$

Mes: Abril

Los tiempos de reparación del mes de abril se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 9-4 Tiempos de reparación abril 2015

Abril														
Tiempo de reparación en horas														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1,00	1,57	2,00	6,00	8,50	9,00	9,15	9,92	10,00	19,90	21,47	21,72	22,17	22,22	23,22

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Cálculo de las coordenadas para la Linealización según la distribución de Weibull del mes de abril están disponible en el anexo B. Se grafica las coordenadas y se obtiene la recta:

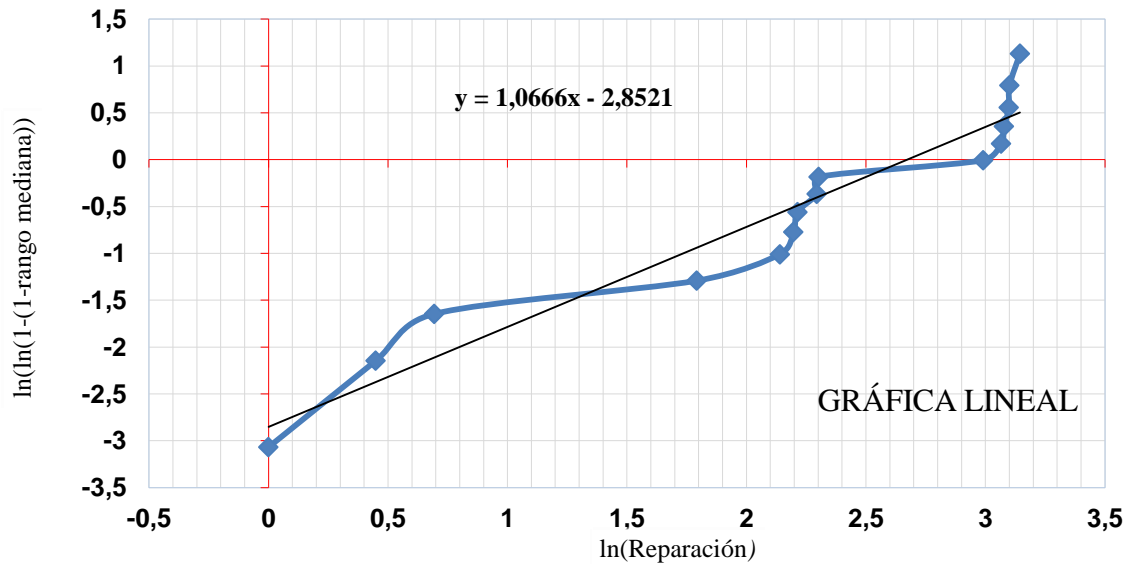


Figura 7.4 Linealización abril

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Parámetros de forma y de escala.

Intercepto	-2,8521
β	1,067
α	14,497

Coefficientes de determinación y correlación excelente > 0.9 .

R	0,96
R²	0,92

Se ensayan varios valores de tiempos y se obtiene la curva de la mantenibilidad:

$$M(t) = 1 - e^{-[t/\alpha]^\beta}$$

:

Tabla 10.4 Datos función de la mantenibilidad abril 2015

X	Tiempo	5	10	15	20	25	30	35	40	45	55	60	80
---	--------	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

	(h)												
Y	M(t)	0,28	0,49	0,65	0,76	0,83	0,89	0,92	0,95	0,97	0,98	0,99	1,00
	%	27,50	49,00	64,50	75,60	83,30	88,60	92,30	94,80	96,50	98,40	98,90	99,80

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

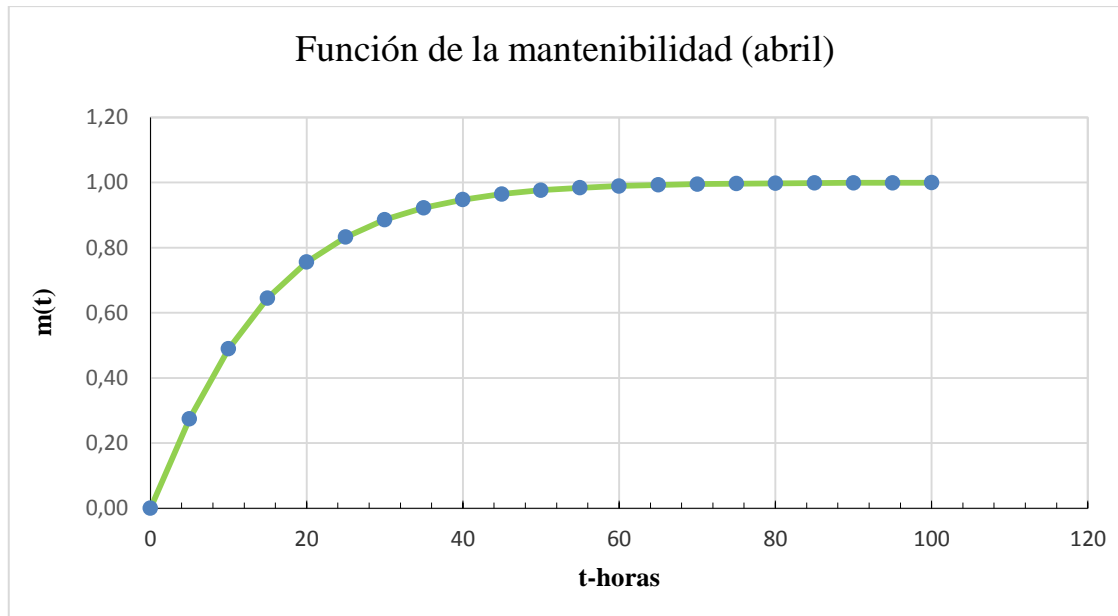


Figura 8-4 Función mantenibilidad Abril 2015

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Tiempo medio de reparaciones:

$$MTTR (\text{Abril}) = \alpha \times \Gamma (1+1/\beta)$$

$$MTTR (\text{Abril}) = 14.14 \text{ h}$$

$$\mu = 0,07 \text{ reparaciones/h}$$

Mes: Mayo

Los tiempos de reparación del mes de mayo se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 11-4 Tiempos de reparación mayo 2015

Mayo																
Tiempo de reparación en horas																
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1,4	3,0	4,5	5,0	6,0	8,8	9,0	9,9	10,5	11,7	15,1	15,9	18,3	21,2	21,7	22,6	23,3

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Cálculo de las coordenadas para la Linealización según la distribución de Weibull del mes de mayo están disponible en el anexo B. Se grafica las coordenadas y se obtiene la recta:

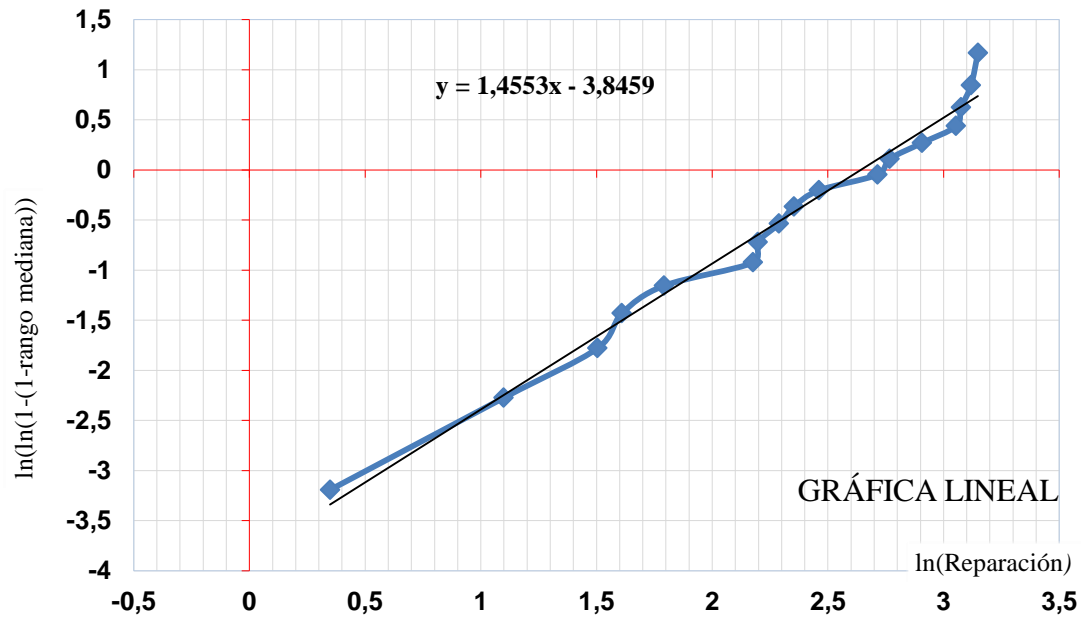


Figura 9-4 linealización mayo

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Parámetros de escala y de forma

Intercepto	-3,8459
β	1,455
α	14,051

Coefficientes de determinación y correlación excelente > 0.9 .

R	0,99
R²	0,96

Se ensayan varios valores de tiempos y se obtiene la curva de la mantenibilidad:

$$M(t) = 1 - e^{-[t/\alpha]^\beta}$$

Tabla 12-4 Datos función de la mantenibilidad mayo 2015

X	t	2	4	6	8	10	12	14	16	22	24	26	28	32	40
----------	----------	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

	horas														
Y	M(t)	0,06	0,15	0,25	0,36	0,46	0,55	0,63	0,70	0,85	0,89	0,91	0,94	0,96	0,99
	%	5,70	14,80	25,20	35,60	45,60	54,80	63,00	70,10	85,30	88,70	91,40	93,50	96,40	0,99

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

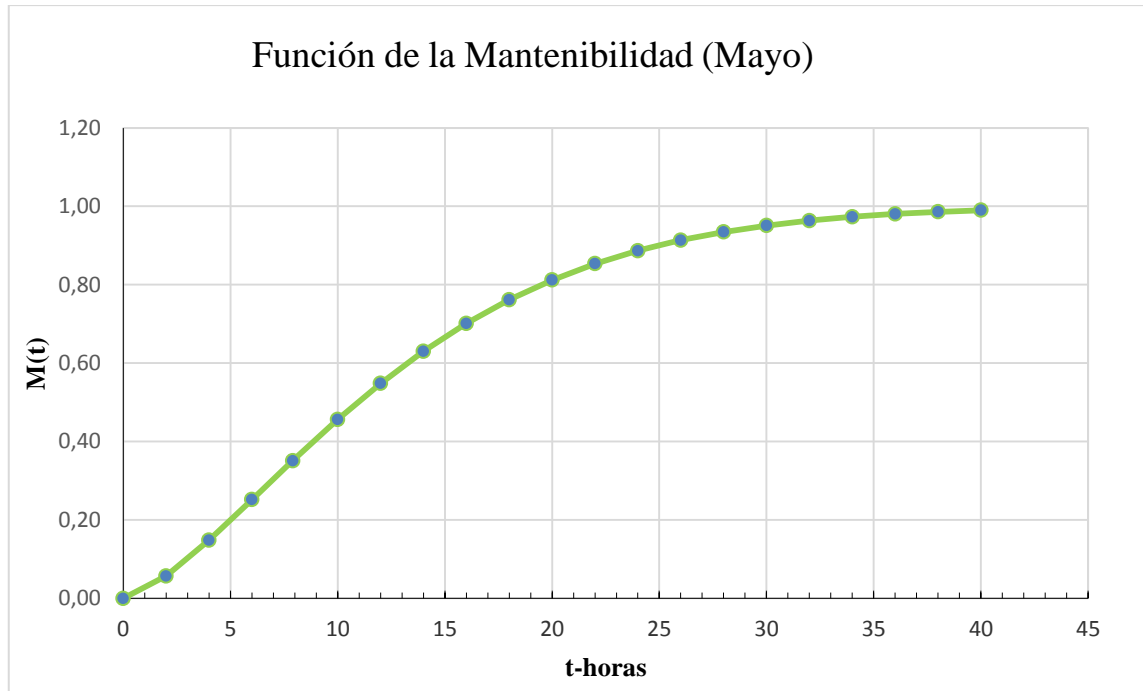


Figura 10-4 Función mantenibilidad mayo 2015

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Tiempo medio de reparaciones:

$$MTTR \text{ (mayo)} = \alpha \times \Gamma (1+1/\beta)$$

$$MTTR \text{ (mayo)} = 12,73 \text{ h}$$

$$\mu = 0,08 \text{ reparaciones/h}$$

Mes: Junio

Los tiempos de reparación del mes de junio se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 13-4 Tiempos de reparación junio 2015

Junio										
Tiempo de reparación en horas										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,32	0,67	1,00	2,00	2,75	3,32	5,00	8,00	16,10	21,02	21,37

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Cálculo de las coordenadas para la Linealización según la distribución de Weibull del mes de junio están disponible en el anexo B. Se grafica las coordenadas y se obtiene la recta:

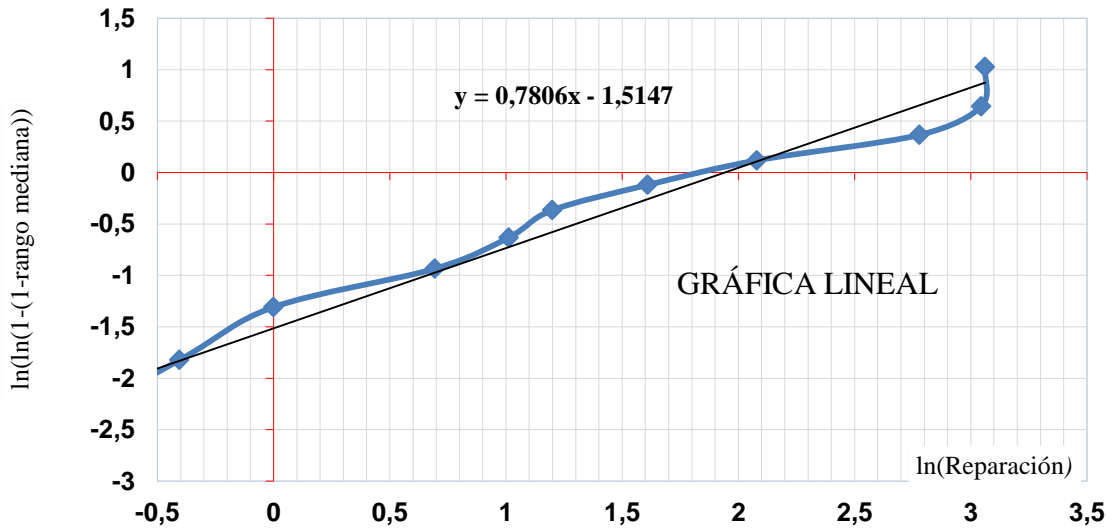


Figura 11-4 Linealización junio 2015

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Parámetros de escala y de forma.

Intercepto	-1,5147
β	0,781
α	6,961

Coefficientes de determinación y correlación excelente > 0.9.

R	0,98
R²	0,97

Se ensayan varios valores de tiempos y se obtiene la curva de la mantenibilidad:

:

$$M(t) = 1 - e^{-[t/\alpha]^\beta}$$

Tabla 14-4 Datos función de la mantenibilidad junio 2015

X	t horas	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	51	60
Y	M(t)	0,41	0,59	0,71	0,78	0,84	0,88	0,91	0,93	0,94	0,96	0,97	0,99	1,00
	%	40,50	59,00	70,50	78,30	83,80	87,70	90,60	92,80	94,40	95,60	96,60	99,10	99,50

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

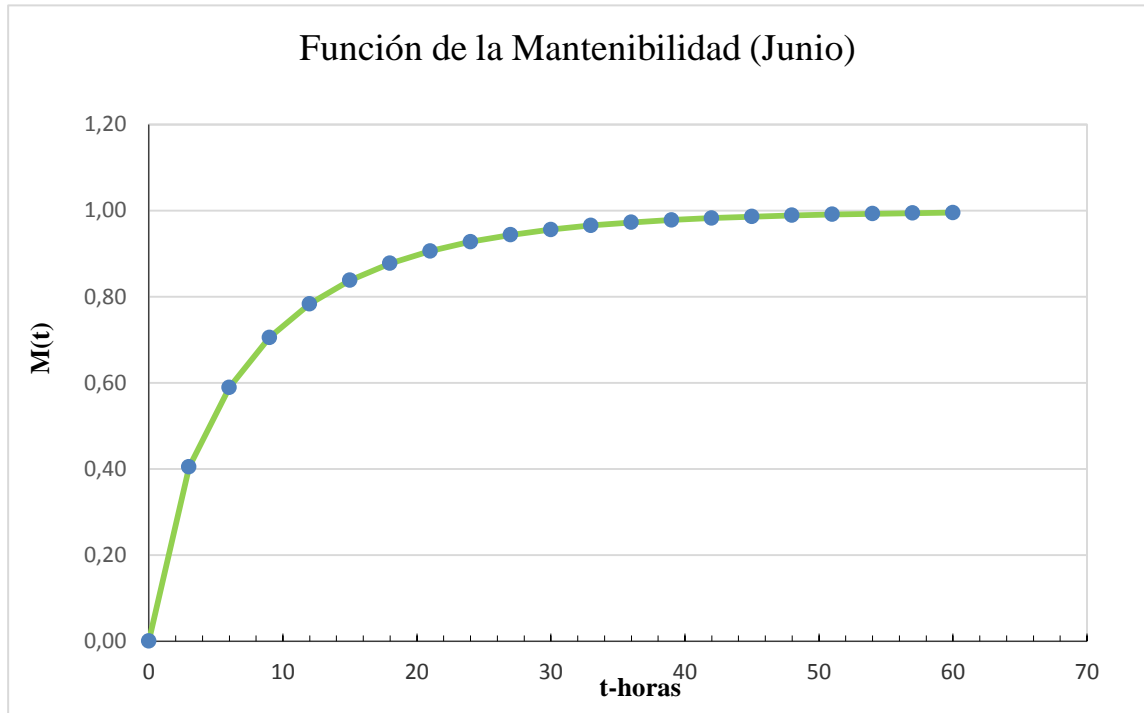


Figura 12-4 Datos función mantenibilidad junio 2015

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Tiempo medio de reparaciones:

$$MTTR (\text{junio}) = \alpha \times \Gamma (1+1/\beta)$$

$$MTTR (\text{junio}) = 8.03 \text{ h}$$

$$\mu = 0,12 \text{ reparaciones/h}$$

Mes: Julio

Los tiempos de reparación del mes de julio se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 15-5 Tiempos de reparación julio 2015

Julio										
Tiempo de reparación en horas										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1,02	2,03	3,05	4,07	5,08	8,13	9,15	11,18	11,18	12,20	16,27

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Cálculo de las coordenadas para la Linealización según la distribución de Weibull del mes de julio están disponible en el anexo B. Se grafica las coordenadas y se obtiene la recta:

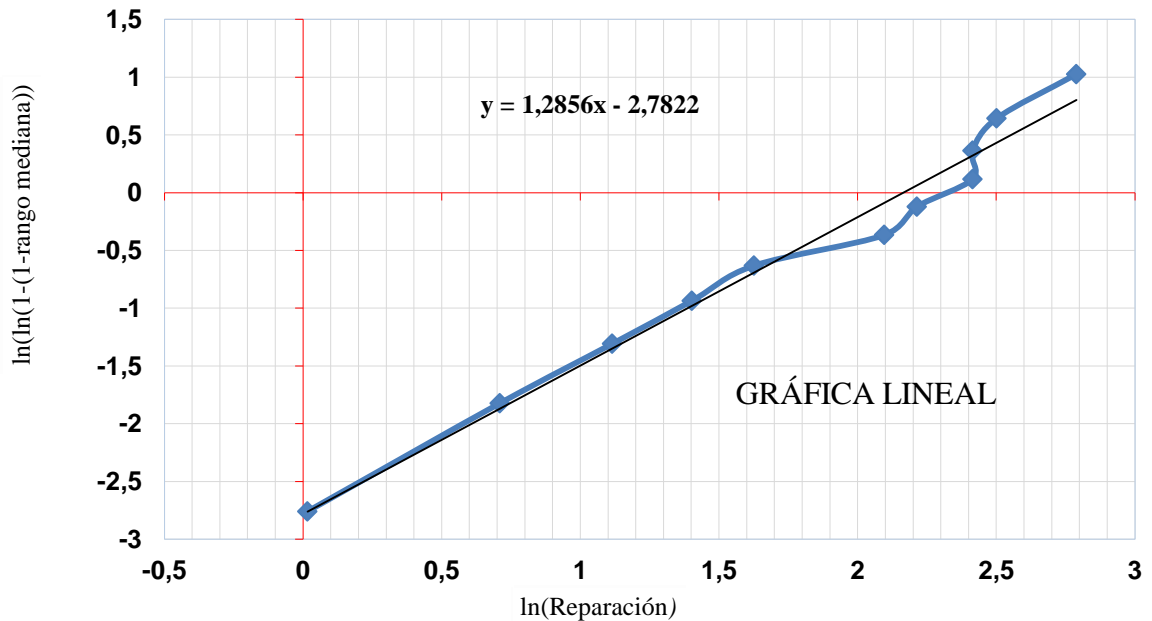


Figura 13-4 Linealización Julio 2015

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Parámetros de escala y de forma.

Intercepto	-2,7822
β	1,286
α	8,707

Coefficientes de determinación y correlación excelente > 0.9.

R	0,99
R²	0,99

Se ensayan varios valores de tiempos y se obtiene la curva de la mantenibilidad:

$$M(t) = 1 - e^{-[t/\alpha]^\beta}$$

Tabla 16-4 Datos función de la mantenibilidad julio 2015

X	t horas	1,5	3	4,5	6	7,5	9	10,5	12	15	16,5	19,5	21	22,5	30
Y	M(t)	0,10	0,22	0,35	0,46	0,56	0,65	0,72	0,78	0,87	0,90	0,94	0,96	0,97	0,99
	%	9,90	22,40	34,80	46,20	56,20	64,80	72,00	77,90	86,60	89,70	94,00	95,50	96,60	99,30

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

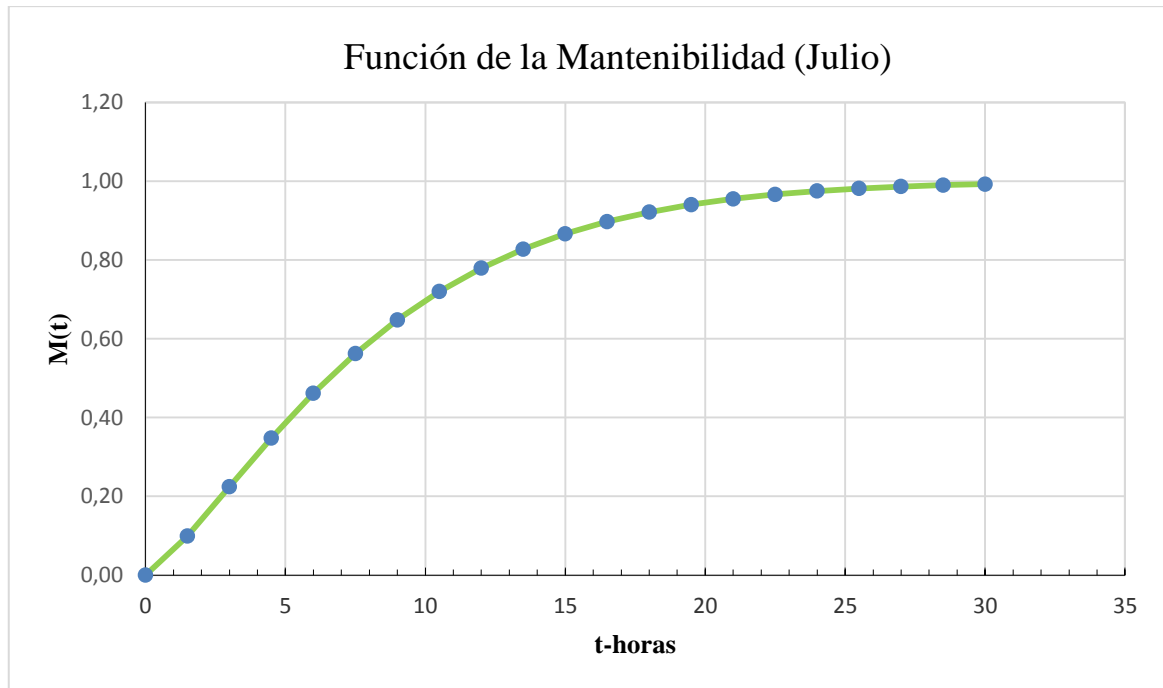


Figura 14-4 Función mantenibilidad julio 2015

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Tiempo medio de reparaciones:

$$MTTR (\text{Julio}) = \alpha \times \Gamma (1+1/\beta)$$

$$MTTR (\text{Julio}) = 8,06 \text{ h}$$

$$\mu = 0,12 \text{ reparaciones/h}$$

Mes: Agosto

Los tiempos de reparación del mes de agosto se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 17-4 Tiempos de reparación agosto 2015

Agosto																
Tiempo de reparación en horas																
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17

1,0	2,0	2,0	3,0	3,1	4,5	6,0	7,0	8,3	8,7	9,0	9,7	10,5	11,2	14,1	21,2	79,4
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Cálculo de las coordenadas para la Linealización según la distribución de Weibull del mes de agosto están disponible en el anexo B. Se grafica las coordenadas y se obtiene la recta:

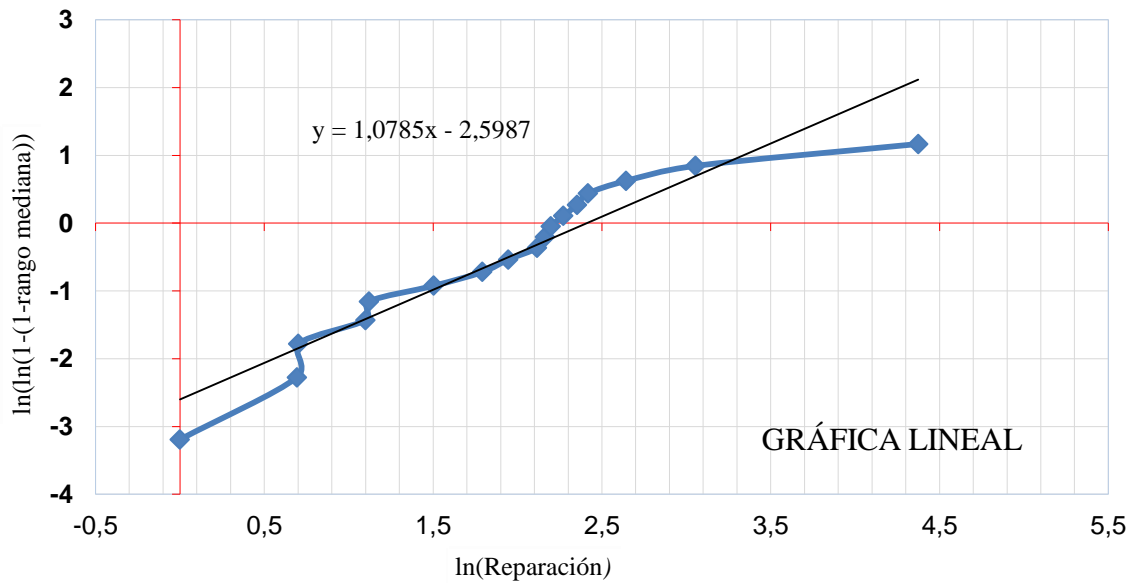


Figura 15-4 Linealización agosto 2015

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Parámetros de escala y de forma.

Intercepto	-2,60
β	1,08
α	11,1 3

Coefficientes de determinación y correlación aceptable > 0.7 .

R	0,88
R²	0,77

Se ensayan varios valores de tiempos y se obtiene la curva de la mantenibilidad:

$$M(t) = 1 - e^{-[t/\alpha]^\beta}$$

Tabla 18-4 Datos función de la mantenibilidad agosto 2015

X	t horas	2	4	6	8	10	12	16	18	22	24	28	30	34	38
Y	M(t)	0,15	0,28	0,40	0,50	0,59	0,66	0,77	0,81	0,88	0,90	0,93	0,95	0,96	0,98
	%	14,54	28,23	40,17	50,37	58,98	66,2	77,22	81,36	87,58	89,88	93,31	94,57	96,44	97,67

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

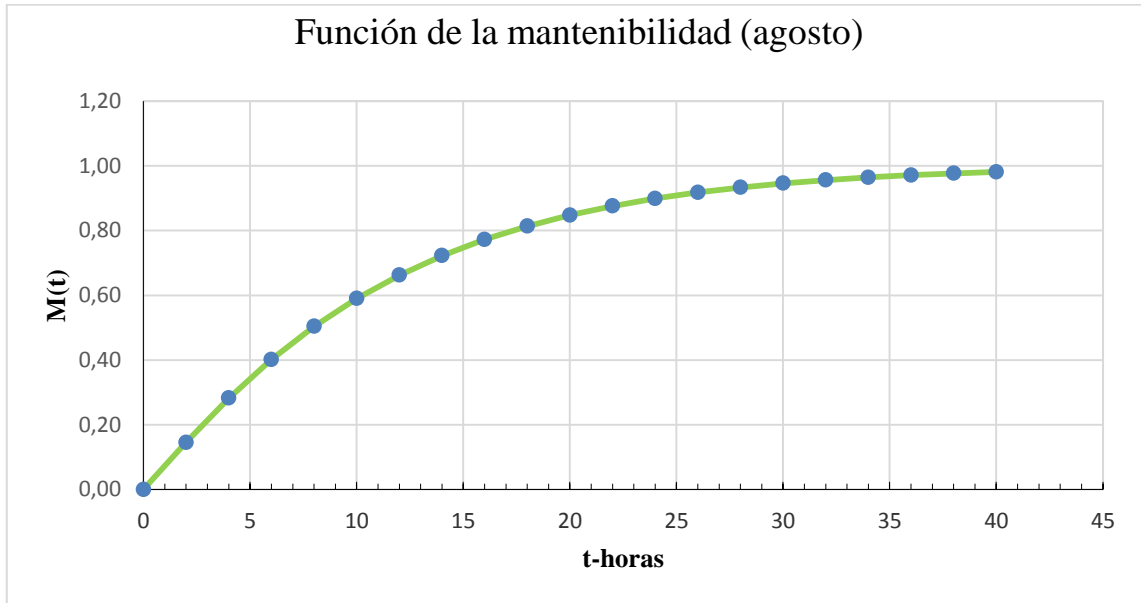


Figura 16-4 Función de la mantenibilidad agosto 2015

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Tiempo medio de reparaciones:

$$MTTR (\text{agosto}) = \alpha \times \Gamma (1+1/\beta)$$

$$MTTR (\text{agosto}) = 10.81 \text{ h}$$

$$\mu = 0,093 \text{ reparaciones/h}$$

Mes: Septiembre

Los tiempos de reparación del mes de septiembre se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 19-4 Tiempos de reparación septiembre 2015

Septiembre													
Tiempo de reparación en horas													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0,32	1,17	2,00	3,00	4,00	4,00	7,82	10,77	13,00	14,97	21,90	47,50	56,00	74,50

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Cálculo de las coordenadas para la Linealización según la distribución de Weibull del mes de septiembre están disponible en el anexo B. Se grafica las coordenadas y se obtiene la recta:

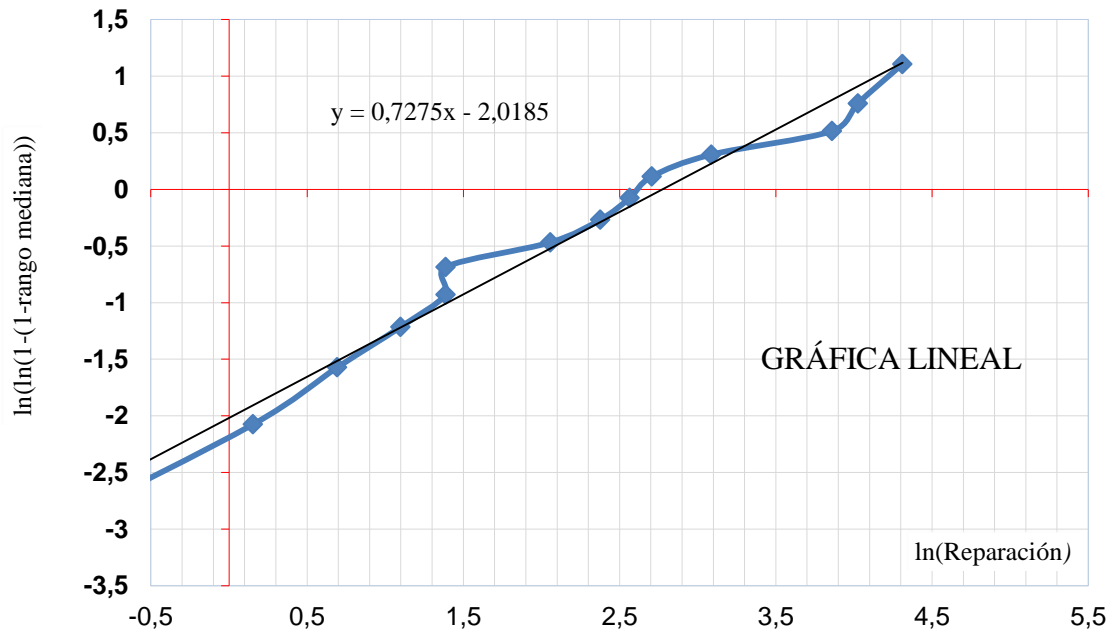


Figura 17-4 Linealización Septiembre 2015

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Parámetros de escala y de forma.

Intercepto -2,018464266
 β 0,727477814
 α 16,03230812

Coefficientes de determinación y correlación Muy Buena > 0.90.

R 0,99
R² 0,98

Se ensayan varios valores de tiempos y se obtiene la curva de la mantenibilidad:

$$M(t) = 1 - e^{-[t/\alpha]^\beta}$$

Tabla 20-4 Datos función de la mantenibilidad septiembre 2015

X	t horas	5	10	15	25	30	35	40	45	50	60	70	80	95	100
Y	M(t)	0,35	0,51	0,61	0,75	0,79	0,83	0,86	0,88	0,90	0,93	0,95	0,96	0,97	0,98
	%	34,85	50,8	61,43	74,88	79,35	82,88	85,7	87,98	89,85	92,66	94,62	96	97,4	97,73

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

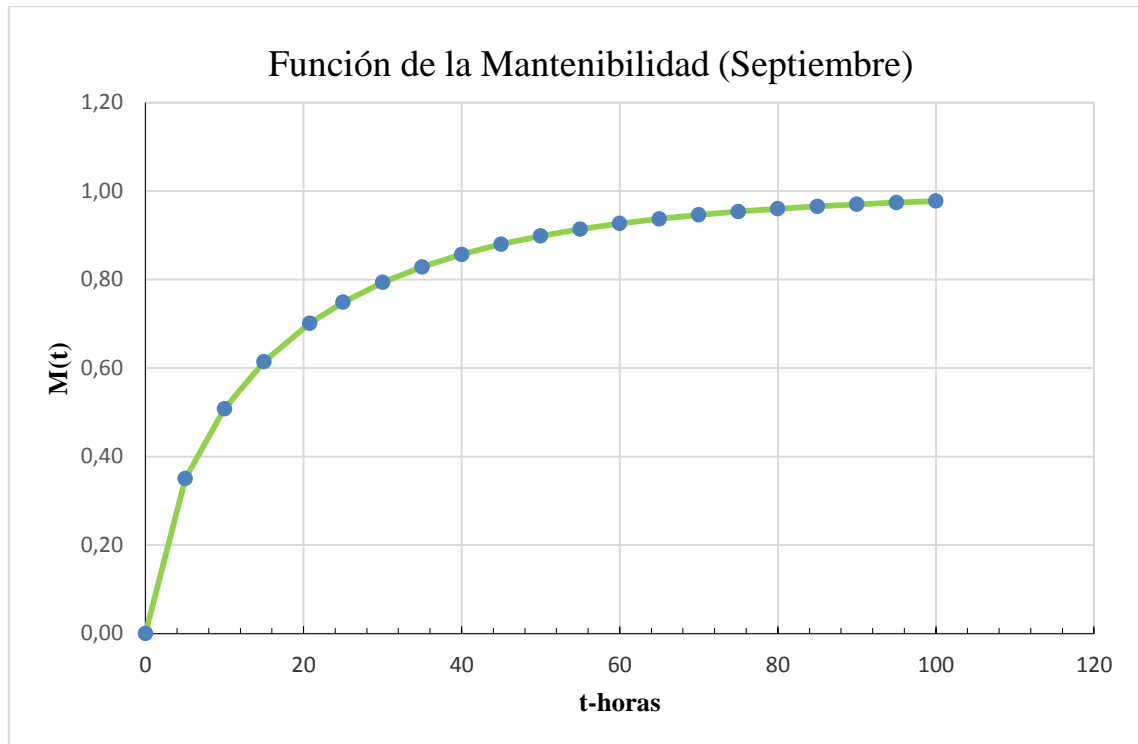


Figura 18-4 Función mantenibilidad Septiembre 2015

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Tiempo Medio de Reparaciones:

$$MTTR (\text{Septiembre}) = \alpha \times \Gamma (1+1/\beta)$$

$$MTTR (\text{Septiembre}) = 19.59 \text{ h;}$$

$$\mu = 0,05 \text{ reparaciones/h}$$

Mes: Octubre

Los tiempos de reparación del mes de octubre se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 21-4 Tiempos de reparación octubre 2015

Octubre																		
Tiempo de reparación en horas																		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

1,1	3,0	6,0	7,4	7,9	8,0	8,0	8,0	8,5	9,6	10,3	10,3	10,6	14,8	16,3	17,5	19,5	20,2	24,0
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Cálculo de las coordenadas para la Linealización según la distribución de Weibull del mes de octubre están disponible en el anexo B. Se grafica las coordenadas y se obtiene la recta:

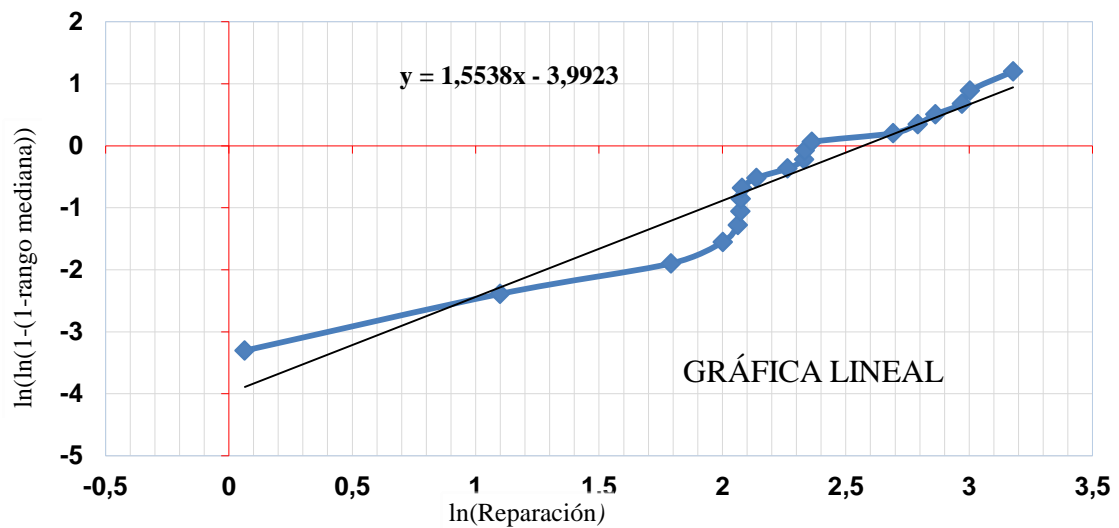


Figura 19-4 Linealización (octubre 2015)

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Parámetros de escala y de forma.

Intercepto	-3,992
β	1,553
α	13.059

Coefficientes de determinación y correlación muy buena > 0.90

R	0,96
R²	0,92

Se ensayan varios valores de tiempos y se obtiene la curva de la mantenibilidad:

$$M(t) = 1 - e^{-[t/\alpha]^\beta}$$

Tabla 22-4 Datos función de la mantenibilidad octubre 2015

X	t horas	2	4	6	8	10	12	16	18	22	28	30	32	40
Y	M(t)	0,05	0,15	0,26	0,37	0,48	0,58	0,75	0,81	0,89	0,96	0,97	0,98	1,00
	%	5,27	14,71	25,82	37,31	48,34	58,39	74,62	80,73	89,45	96,2	97,38	98,21	99,66

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

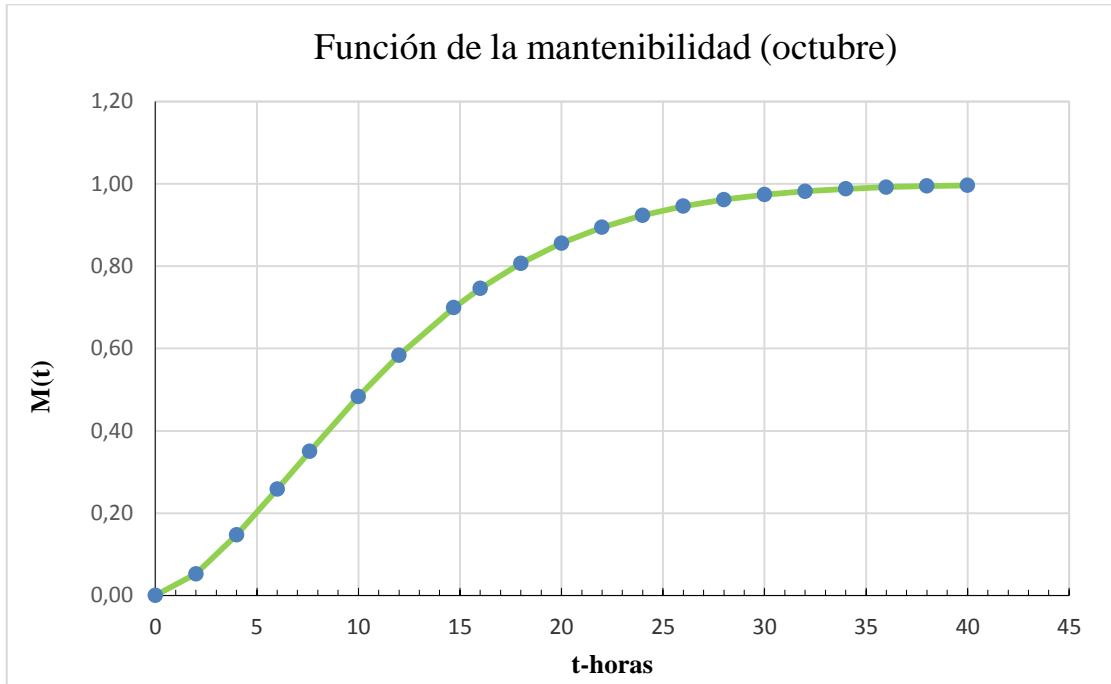


Figura 20-4 Función mantenibilidad Octubre 2015

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Tiempo medio de reparaciones:

$$MTTR (\text{Octubre}) = \alpha \times \Gamma (1+1/\beta)$$

$$MTTR (\text{Octubre}) = 11.74 \text{ h}$$

$$\mu = 0,08 \text{ reparaciones/h}$$

4.1.2. Resumen de la mantenibilidad general

A continuación se presenta un resumen de los resultados del cálculo de la variación de la mantenibilidad, analizada mensualmente en el período del 01/01/2015 al 31/10/2015 para distintos tiempos estimados de reparación.

Tabla 23-4 Probabilidad de reparación (2h, 10h, 20h, 40h)

Análisis probabilístico de la mantenibilidad (%)										
TTR (h)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
2	54,8	26,5	26,4	11,4	5,7	31,5	14,0	14,5	19,7	5,3
10	95,5	56,6	67,3	49,0	45,6	73,5	69,7	59,0	50,8	48,3
20	99,6	72,2	85,8	75,6	81,2	89,8	94,6	84,8	69,1	85,6
40	100,0	86,0	96,7	94,8	99,0	98,0	99,9	98,1	85,7	99,7

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

En la tabla 23-4 se presenta el cálculo probabilístico mensual de la mantenibilidad analizado para 4 tiempos diferentes (2h, 10 h, 20 h y 40 h). Ejemplo: para el mes de abril, la probabilidad que la reparación se efectúe en 2 h es del 11,4%, para un tiempo de 10 h la probabilidad de reparación es del 49%, para un tiempo de 20 h la probabilidad de reparación es del 75,6% y para un tiempo de 40 h la probabilidad de reparación es del 94,8%.

La variación de la probabilidad de reparación se representa gráficamente en la Figura 21-4. Se puede visualizar el comportamiento de la probabilidad de reparación a través del tiempo (desde enero hasta octubre del 2015) para cada uno de los tiempos de ensayo. Si obtenemos el promedio de los datos mensuales en cada uno de los tiempos de ensayo tenemos los siguientes valores:

Tabla 24-4 Mantenibilidad promedio

TTR (h)	Mantenibilidad (%) probabilidad promedio
2	21,0
10	61,5
20	83,8
40	95,8

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

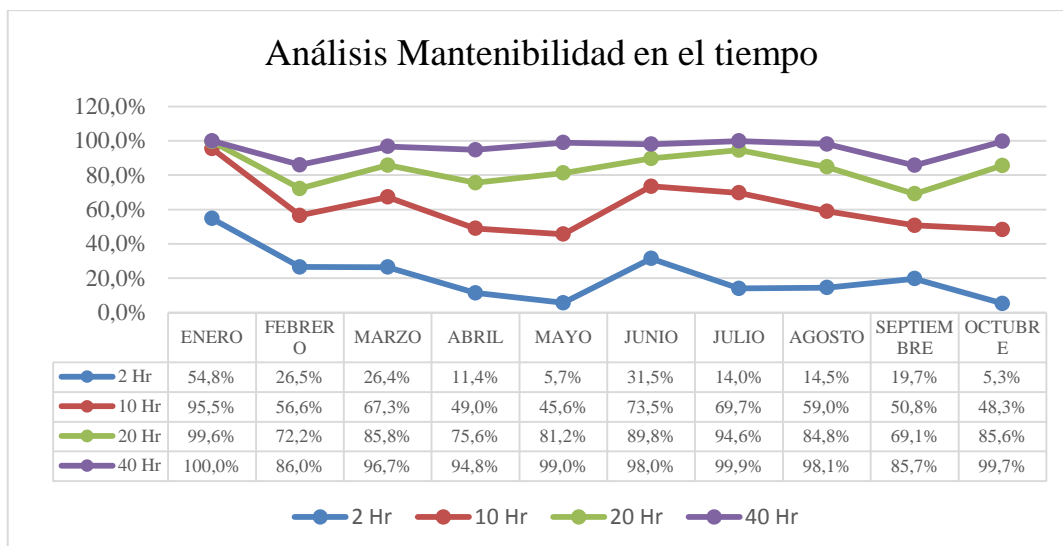


Figura 21-4 Variación de la mantenibilidad en el tiempo

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Los valores de la tabla 24-4 se tomarán como referencia o valores base. El objetivo inicial será superar los valores base mensualmente, posteriormente se podrán plantearse nuevas metas a superar.

Otros parámetros a analizar son:

- MTTR Tiempo medio para reparar.
- μ Tasa de reparaciones.
- β Parámetro de forma.
- α Parámetro de escala.

En la tabla 25-4 se presentan los valores calculados de los parámetros: de forma (β) y de escala (α), el MTTR de la distribución de Weibull y la tasa de reparaciones μ (datos obtenidos mensualmente desde enero a octubre del 2015).

Tabla 25-4 Parámetros (β , α , MTTR, μ)

Parámetro	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
β	0,85	0,62	0,80	1,07	1,46	0,78	1,29	1,08	0,73	1,55
α	2,63	13,42	8,71	14,50	14,05	6,96	8,71	11,13	16,03	13,06
MTTR	2,87	19,41	9,84	14,14	12,73	8,03	8,06	10,81	19,59	11,74
μ	0,35	0,05	0,10	0,07	0,08	0,12	0,12	0,09	0,05	0,09

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

El comportamiento de los parámetros en el tiempo se representa gráficamente en la figura 22-4.

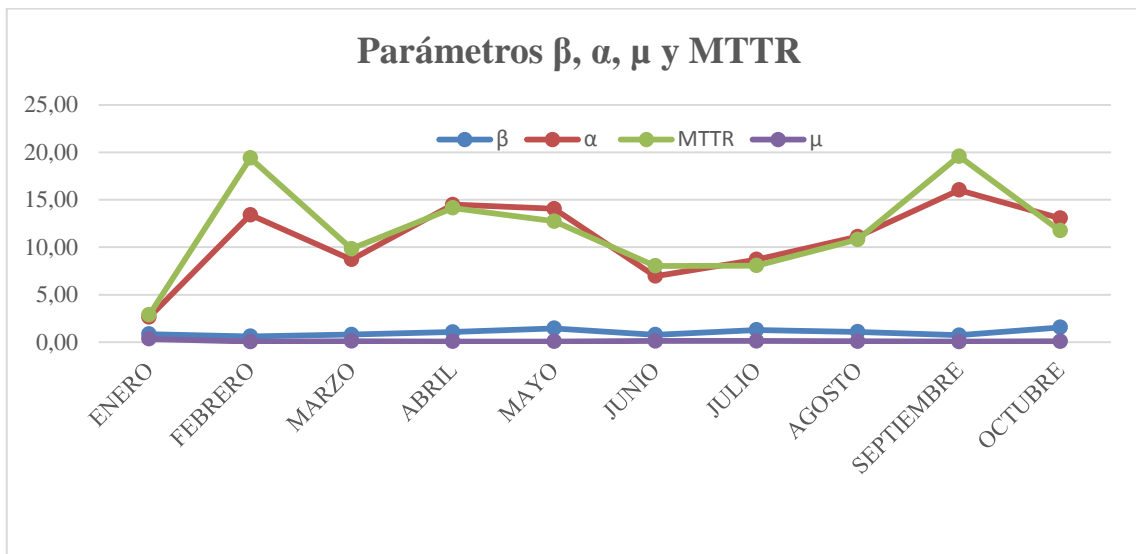


Figura 22-4 Comportamiento de los parámetros en el tiempo β , α , μ , MTTR.

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

El cálculo del promedio del valor del parámetro de forma β en el período de 10 meses es de 1,02 y si calculamos el parámetro beta de todo el período de tiempo el valor es de 0,93.

En los dos casos el parámetro β es muy cercano a la unidad. Si el tema fuese la fiabilidad, los equipos estarían en la fase normal de operación donde la tasa de fallos es constante.

En la revisión bibliográfica revisada ningún autor analiza el significado de la variación del parámetro de forma β para el concepto de la mantenibilidad.

En mantenibilidad un valor de β aproximado a uno representa una tasa de reparaciones (número de reparaciones por unidad de tiempo) constante, se podría argumentar que este comportamiento se debe al conocimiento que van adquiriendo los técnicos sobre el comportamiento de las máquinas, y además de la comprensión del comportamiento de los fallos más comunes y como corregirlos, obteniendo como resultado una tasa de reparación constante, con el parámetro β cercana a 1.

En la figura 23-4 se puede visualizar el comportamiento del parámetro de forma β , desde enero a octubre del 2015. Si bien se encuentra una variación de los resultados

calculados mensualmente, esta variación no es muy alta, y la media de los datos en los 10 meses de ensayo se acerca a la unidad.

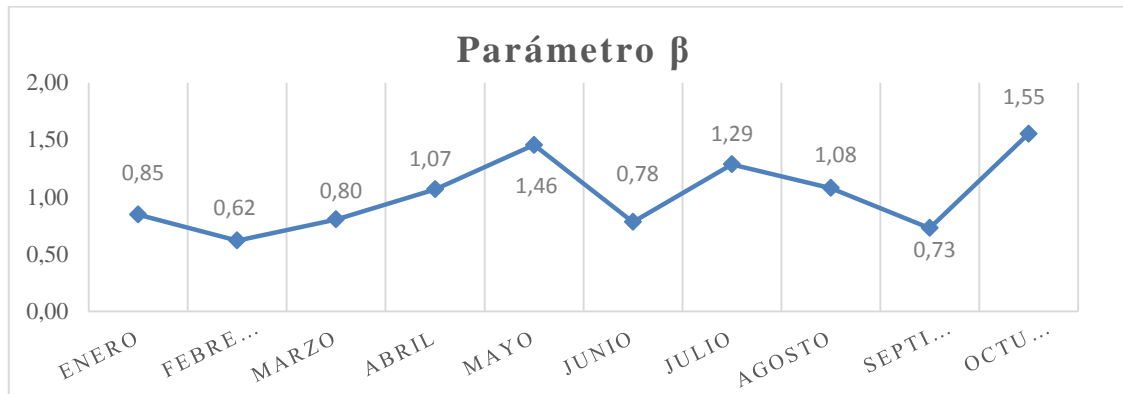


Figura 23-4 Parámetro β enero a octubre del 2015

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

El MTTR (Tiempo medio para reparar) en su concepto más básico, es el tiempo total de reparación de uno o más ítems, dividido para el número total de fallas (o reparaciones) en el período de tiempo analizado. El cálculo utilizado en esta tesis es el propuesto por los estudios de la distribución de Weibull donde:

$$MTTR = \alpha \times \Gamma (1+1/\beta)$$

El MTTR calculado mensualmente se encuentra entre valores que oscilan entre 2,87 h hasta 19,59 h. La media de los 10 meses de estudio es de 11,7 h, si el cálculo del MTTR se lo realiza en el periodo total el valor es de 10,8 h. Estos dos son bastante cercanos.

El valor del MTTR se tomarán como referencia o valor base es de 11,72 h. El objetivo será obtener un valor igual o menor a 11,72 h del MTTR por mes. Una de las metas es ir reduciendo este valor en el transcurso del tiempo, para eso hay que tomar acciones correctivas.

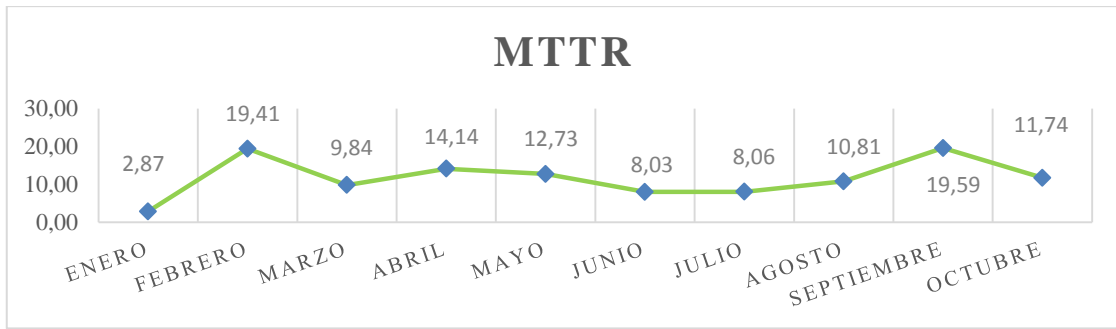


Figura 24-4 MTTR mensual enero a octubre del 2015

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

El la figura 25-4 se observa la variación mensual de la tasa de reparaciones. Se concluye que la tasa de reparaciones es contante. Inicia con un valor de 0,35 reparaciones por hora, estabilizándose posteriormente entre valores de 0,05 a 0,12 reparaciones por hora, teniendo una tendencia casi lineal. El promedio de la tasa de reparaciones es 0,11 y el cálculo total del período es de 0,09 reparaciones por hora.

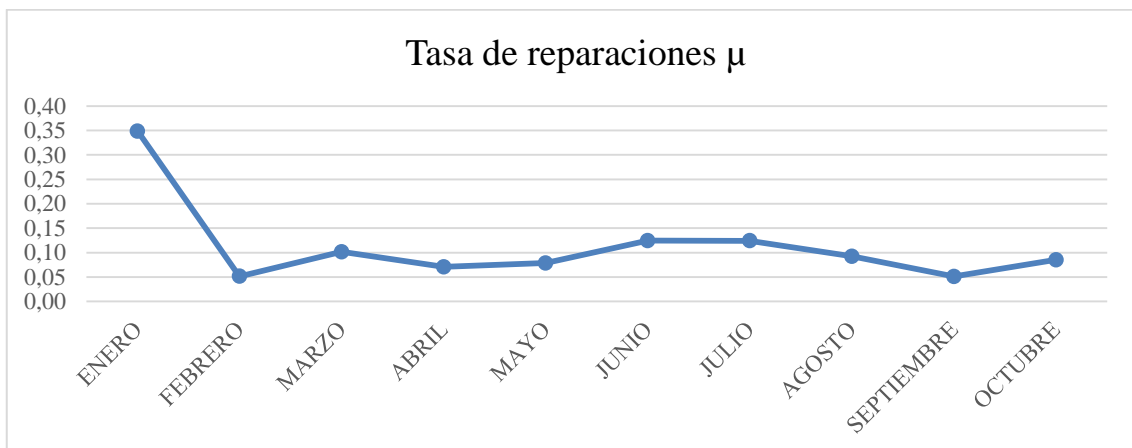


Figura 25-4 Tasa de reparación μ (enero a octubre del 2015)

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

El comportamiento del parámetro de escala α se puede apreciar en la figura 26-4.

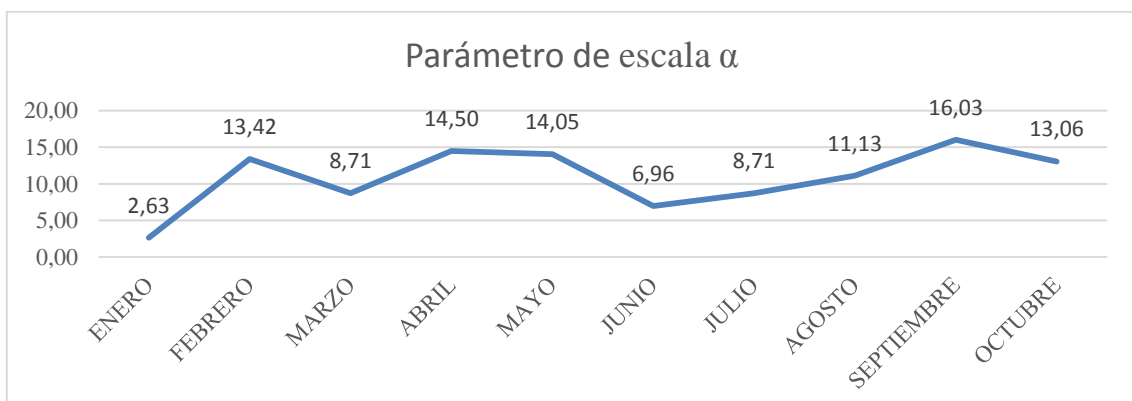


Figura 26-4 Parámetro de escala α enero a octubre del 2015

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

4.1.3 Cuantificación de la mantenibilidad por marca

El objetivo del siguiente cálculo es analizar los parámetros de la mantenibilidad por la marca de los grupos electrógenos (Caterpillar, Cummins y MTU), en el período comprendido entre enero a octubre del 2015.

Equipos Caterpillar. En la tabla 26-4, se presentan los tiempos de reparación recolectados en un período de 10 meses de los 51 equipos Caterpillar.

Tabla 26-4 Tiempos de reparación equipos Caterpillar (10 meses)

Equipos Caterpillar (51 equipos) 10/01/2015 al 31/10/2015														
Tiempo de reparación en horas														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,27	0,32	0,32	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1,00	1,42	1,50	1,67	2,00	2,02	2,50	2,75	3,00	3,00	3,00	3,32	4,00	4,50	5,00
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
6,00	6,00	6,32	7,00	7,40	7,60	7,87	8,00	8,12	8,20	8,25	8,30	8,48	8,50	8,82
46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
9,00	9,00	9,15	9,62	9,92	10,30	10,52	10,62	11,22	13,00	14,05	14,77	14,97	15,42	15,75
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
15,92	16,32	16,45	16,57	16,82	17,22	17,30	19,52	19,90	21,02	21,37	21,42	21,47	22,20	22,25
76	77	78	79	80	81	82								
22,42	22,50	22,62	22,70	23,22	24,00	47,50								

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Cálculo de las coordenadas para la Linealización según la distribución de Weibull de los equipos Caterpillar, disponible en el anexo B. Se grafica los puntos obtenidos y se obtiene la recta:

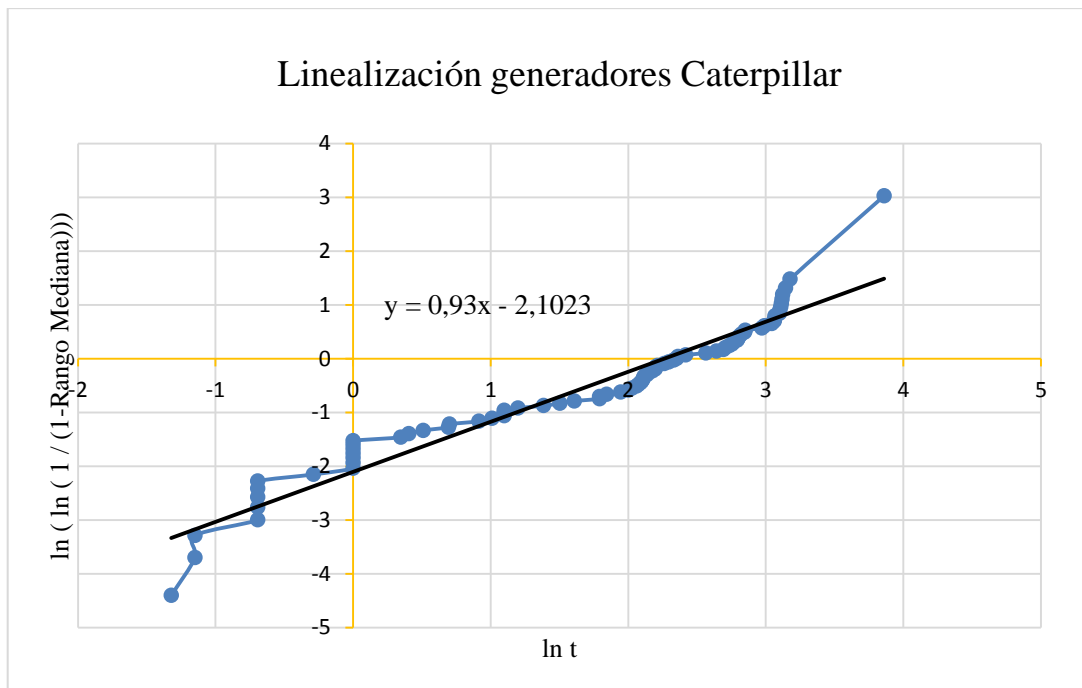


Figura 27-4 Linealización equipos Caterpillar.

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Parámetros de escala y de forma.

Intercepto	-2,102
β	0,930
α	9,587

Coefficientes de determinación y correlación excelente > 0.90.

R	0,97
R²	0,94

Se ensayan varios valores de tiempos y se obtiene la curva de la mantenibilidad:

$$M(t) = 1 - e^{-[t/\alpha]^\beta}$$

Tabla 27-4 Datos función de la mantenibilidad equipos Caterpillar

X	t horas	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	65
Y	M(t)	0,42	0,65	0,78	0,86	0,91	0,94	0,96	0,98	0,99	0,99	0,99	1,00
	%	42,1	64,7	78	86,2	91,3	94,4	96,4	97,7	98,5	99	99,4	99,7

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

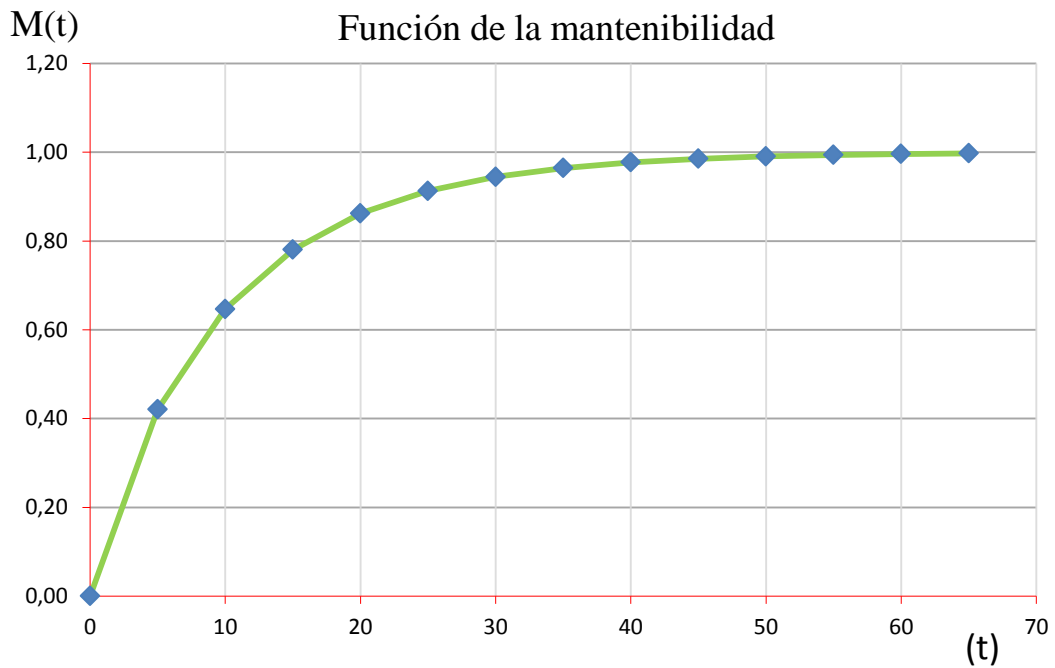


Figura 28-4 Función mantenibilidad equipos Caterpillar

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Tiempo medio de reparaciones:

$$MTTR (\text{Octubre}) = \alpha \times \Gamma (1+1/\beta)$$

$$MTTR (\text{Octubre}) = 9,915 \text{ h}$$

$$\mu = 0,10 \text{ reparaciones/h}$$

Equipos MTU. En la tabla 28-4, se presentan los tiempos de reparación recolectados en un período de 10 meses de los equipos MTU.

Tabla 28-4 Tiempos de reparación equipos Mtu (10 meses)

Equipos MTU (10 equipos) 10/01/2015 al 31/10/2015															
Tiempo de reparación en horas															
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>	<i>16</i>
0,1	0,7	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,0	5,0	6,0	8,7
<i>17</i>	<i>18</i>	<i>19</i>	<i>20</i>	<i>21</i>	<i>22</i>	<i>23</i>	<i>24</i>	<i>25</i>	<i>26</i>	<i>27</i>	<i>28</i>	<i>29</i>	<i>30</i>	<i>31</i>	<i>32</i>
8,7	9,0	9,7	10,0	10,3	10,8	11,7	19,8	20,5	21,7	22,2	22,5	22,5	23,6	23,6	125,0

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Cálculo de las coordenadas para la Linealización según la distribución de Weibull de los equipos MTU, disponible en el anexo B. Se grafica los puntos obtenidos y se obtiene la recta:

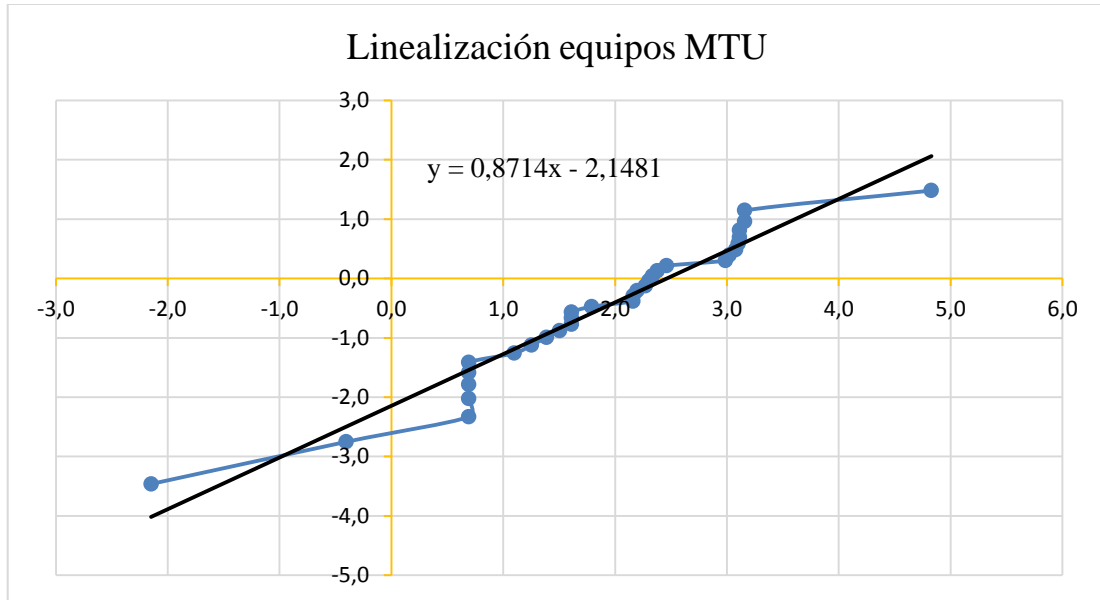


Figura 29-4 Linealización equipos MTU

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015
Parámetros de escala y de forma.

Intercepto	-2,1480
β	0,871
α	11,764

Coefficientes de determinación y correlación excelente > 0.90

R	0,97
R²	0,94

Se ensayan varios valores de tiempos y se obtiene la curva de la mantenibilidad:

$$M(t) = 1 - e^{-[t/\alpha]^\beta}$$

Tabla 29-4 Datos función de la mantenibilidad equipos Mtu

X	t horas	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
Y	M(t)	0,38	0,58	0,71	0,80	0,86	0,90	0,93	0,95	0,96	0,97	0,98	0,98	0,99
	%	37,8	58	70,9	79,6	85,5	89,6	92,5	94,5	96	97,1	97,8	98,4	98,8

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Tiempo medio de reparaciones:

$$MTTR (\text{Octubre}) = \alpha \times \Gamma (1+1/\beta)$$

$$MTTR (\text{Octubre}) = 12,60 \text{ h}$$

$$\mu = 0,079 \text{ reparaciones/h}$$

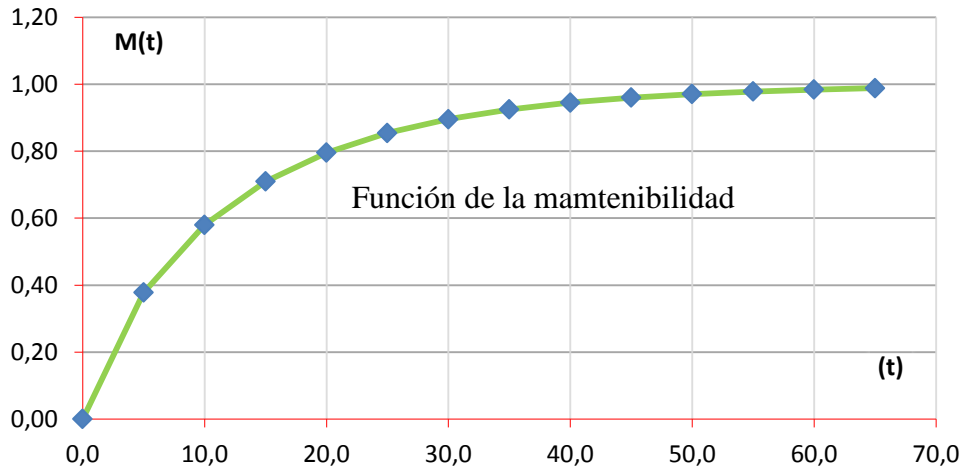


Figura 30-4 Función mantenibilidad equipos MTU

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Equipos Cummins. En la tabla 30-4, se presentan los tiempos de reparación recolectados en un período de 10 meses de los equipos Cummins.

Tabla 30-4 Tiempos de reparación equipos Cummins

Equipos Cummins (30equipos) 01/01/2015 al 31/10/2015														
Tiempo de reparación en horas														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,20	0,32	0,32	0,67	1,00	1,00	1,00	1,00	1,07	1,57	1,65	1,75	1,97	1,97	2,00
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
2,00	2,00	2,00	2,00	2,45	2,45	3,00	3,07	4,00	4,00	4,50	6,00	6,00	6,00	6,00
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
7,00	7,40	7,82	7,95	7,97	8,70	8,75	9,00	9,15	9,87	10,52	11,00	11,45	11,52	12,25
46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
15,10	16,10	16,32	16,52	17,52	17,92	18,07	18,30	19,95	20,17	21,20	21,72	21,90	22,17	23,30
61	62	63	64	65										
23,82	56,00	74,50	79,37	314,00										

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Cálculo de las coordenadas para la Linealización según la distribución de Weibull de los equipos Cummins, disponible en el anexo B. Se grafica los puntos obtenidos y se obtiene la recta:

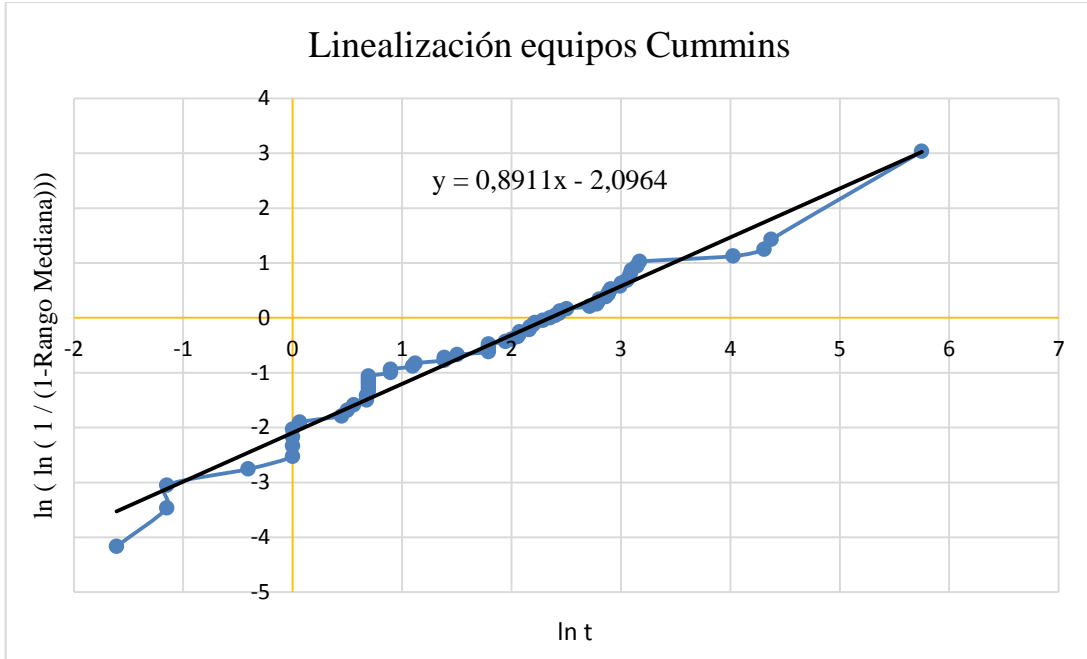


Figura 31-4 Linealización Equipos Cummins
Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Parámetros de escala y de forma.

Intercepto -2,096
β 0,891
α 10,523

Coefficientes de determinación y correlación muy buena > 0.90

R 0,99
R² 0,97

Se ensayan varios valores de tiempos y se obtiene la curva de la mantenibilidad.

$$M(t) = 1 - e^{-[t/\alpha]^\beta}$$

Tabla 31-4 Datos función de la mantenibilidad equipos Cummins

X	t horas	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
Y	M(t)	0,40	0,62	0,75	0,83	0,89	0,92	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99
	%	40,3	61,6	74,7	83	88,5	92,2	94,6	96,3	97,4	98,2	98,7	99,1	99,4

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

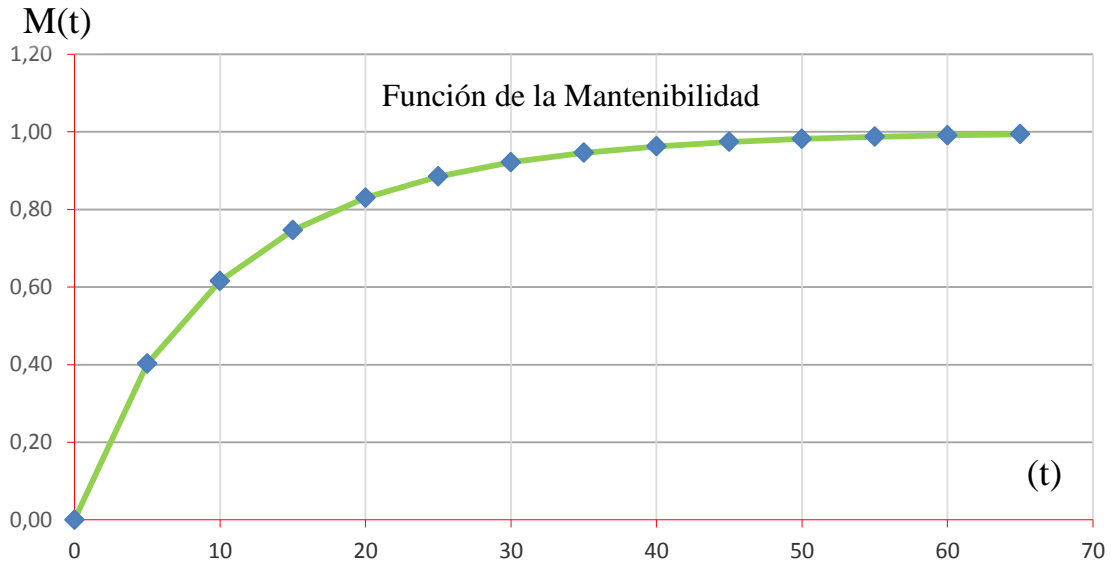


Figura 32-4 Función mantenibilidad
Elaborado por: César Gallegos, 2015

Tiempo medio de reparaciones:

$$MTTR (\text{Octubre}) = \alpha \times \Gamma (1+1/\beta)$$

$$MTTR (\text{Octubre}) = 11,12 \text{ h}$$

$$\mu = 0,090 \text{ reparaciones/h}$$

4.1.4 Resumen de mantenibilidad por marca

Se analizaron los datos de 91 equipos, el número de eventos de reparación y el tiempo total en horas de las reparaciones por equipo se detallan en la tabla 32-4.

Tabla 32-4 N° de equipo, N° de reparaciones, horas de reparación por marca

	Caterpillar	Cummins	Mtu
No. Equipos	51	30	10
No. Reparaciones	82	65	32
Tiempo Total de reparaciones (h)	813,62	1047,18	427,07

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Un indicio de la mantenibilidad de los equipos se aprecia en la figura 33-4, donde se aprecia los porcentajes y las horas totales de reparación de cada marca. Los equipos Cummins y Mtu con menos unidades en relación con los equipos Caterpillar, sin embargo tienen tiempos de reparación altos.

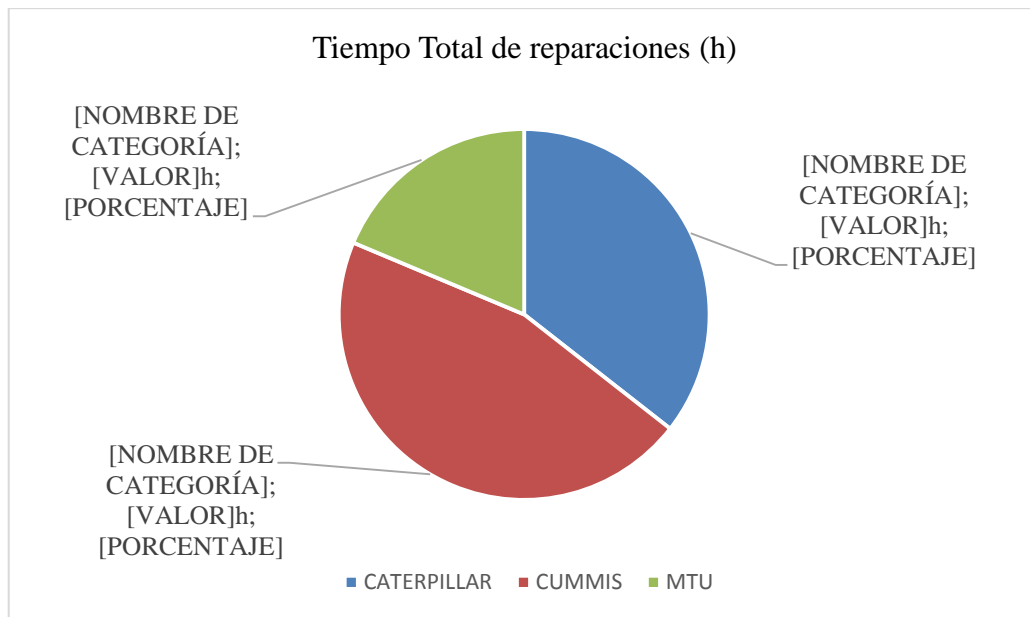


Figura 33-4 Tiempo total de reparaciones por marca

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Al dividir el número total de reparaciones para el número de equipos, obtenemos el promedio de fallas por equipo. El promedio más bajo es para los equipos Caterpillar con 1,6 fallas por equipo, seguidos por los Cummins y al final los MTU.

Tabla 33-4 Fallas promedio por marca

Fallas por equipo promedio		
Caterpillar	Cummins	Mtu
1,6	2,2	3,2

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Dividiendo el total de horas de reparación por marca para el número de equipos de cada marca, obtenemos promedio de horas de reparación por equipo. Los equipos Caterpillar tiene un mejor promedio horas de reparaciones seguidos por los Cummins y al final los MTU, en la tabla 68 se puede apreciar las horas promedio.

Tabla 34-4 Horas promedio de reparación por marca

Horas promedio de reparación por equipo		
Caterpillar	Cummins	Mtu
16,0	34,9	42,7

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

En el esquema de la figura 34-4 se puede analizar la relación, entre la cantidad de equipos analizados de cada marca con el número total de reparaciones y el total de

horas de reparación por marca. Una conjetura preliminar es que los equipos Caterpillar son los más fiables y mantenibles.

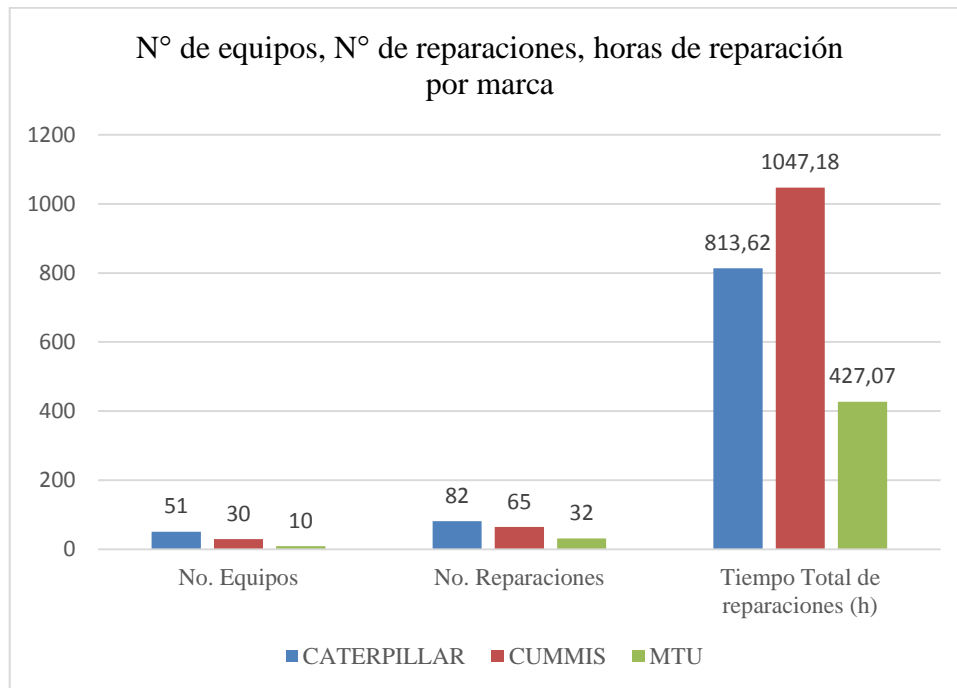


Figura 34-4 N° de: Equipos, de reparaciones y h de reparación (marca)

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

A continuación se presenta los cálculos probabilísticos de la mantenibilidad, analizados por marca en el período del 01/01/2015 al 31/10/2015.

Tabla 35-4 Análisis probabilístico de la mantenibilidad por marca

Análisis probabilístico de la mantenibilidad por marca (%)			
TTR (h)	Caterpillar	Cummins	Mtu
2	20,77	20,38	19,23
10	64,65	61,57	58,02
20	86,21	83,03	79,56
40	97,71	96,27	94,52

Elaborado por: César Gallegos, 2015

En la tabla 35-4 se exhiben los resultados del cálculo probabilístico de la mantenibilidad analizado para 4 tiempos diferentes (2h, 10h, 20h y 40h). Los equipos con mayores probabilidades de reparación son los Caterpillar, seguidos por los Cummins, y al final los MTU. La representación gráfica de los cálculos se aprecia en la figura 35-4.

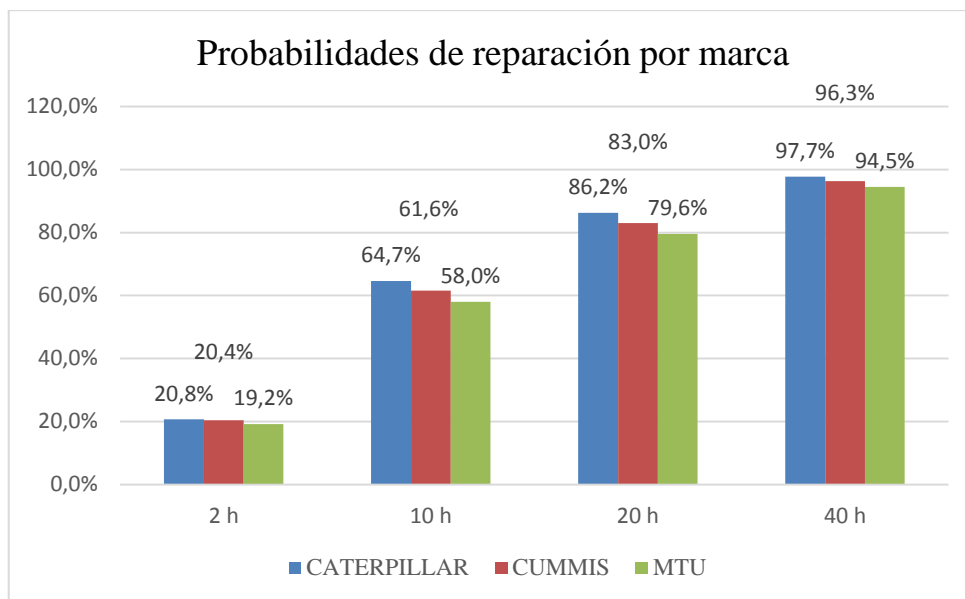


Figura 35-4 Probabilidades de reparación por marca (2h, 10h, 20h y 40h)

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Los valores calculados de los parámetros: de forma (β) y de escala (α), el MTTR de la distribución de Weibull y la tasa de reparaciones μ , tomados desde enero a octubre del 2015, calculados por marca de equipo se presentan en la tabla 36-4.

Parámetro	Caterpillar	Cummins	Mtu	Unidades
β	0,93	0,89	0,87	-
α	9,59	10,51	11,76	h
MTTR	9,91	11,12	12,61	h
μ	0,10	0,09	0,08	reparación/h

Tabla 36-4 Parámetros (β , α , MTTR, μ)

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

El mejor MTTR calculado por marca es para los equipos Caterpillar, seguido por los equipos Cummins y en tercer lugar a los equipos MTU.

Hay que tener cuidado cuando se está calculando medias porque un dato fuera de parámetro puede afectar significativamente los resultados, en algunas ocasiones es preferible segregar ciertos valores de lecturas para obtener un valor más real de la media, lo cual permitirá una buena evaluación del parámetro.

La representación gráfica del MTTR por marca se aprecia en la figura 36-4.

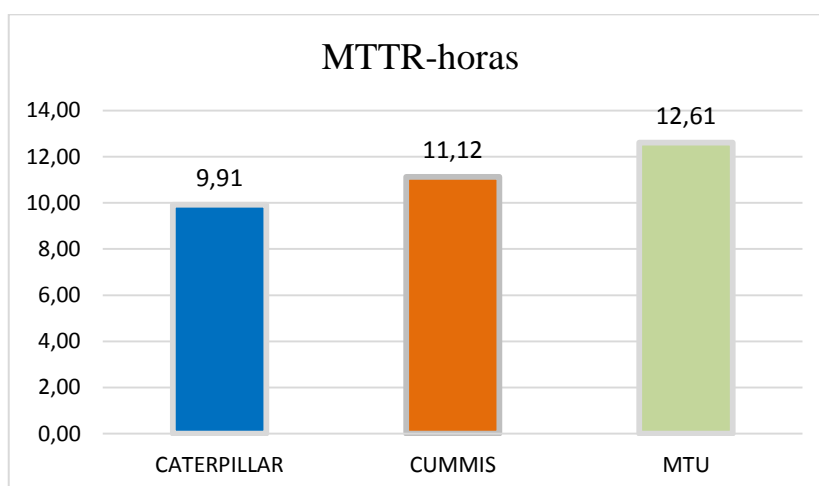


Figura 36-4 MTTR por marca

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

4.1.5 Cuantificación de la mantenibilidad por tipo de falla

El objetivo del siguiente cálculo es analizar los parámetros de la mantenibilidad por el tipo de falla, dividiéndolas en tres tipos: fallas mecánicas, eléctricas y electrónicas, los cálculos se realizan en el período comprendido entre enero a octubre del 2015. Los datos fueron obtenidos del software de mantenimiento SisMAC.

Fallas mecánicas: En la tabla 37-4 se presenta el historial de los tiempos de reparación de fallas Mecánicas en un período de 10 meses (01/01/2015 al 31/10/2015).

Tabla 37-4 Tiempos de reparación de fallas mecánicas

Fallas mecánicas (91equipos) 01/01/2015 al 31/10/2015														
Tiempo de reparación en horas														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,32	0,32	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,67	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1,00	1,07	1,42	1,50	1,65	1,67	1,75	1,97	1,97	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
2,00	2,00	2,02	2,50	2,75	3,00	3,00	3,00	3,00	3,50	4,00	4,00	4,00	4,00	4,50
46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
4,50	5,00	5,42	6,00	6,00	6,00	6,32	7,00	7,00	7,40	7,82	7,95	7,97	8,00	8,25
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
8,30	8,48	8,67	8,70	8,75	8,82	9,00	9,15	9,62	9,70	9,92	10,00	10,32	10,62	11,22
76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
11,72	13,00	14,77	14,77	15,10	15,92	16,10	16,32	16,45	16,57	16,82	17,25	17,52	19,52	19,90
91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105
20,17	20,52	21,02	21,47	21,72	21,90	22,17	22,20	22,22	22,25	22,42	22,50	22,52	22,52	22,70

106	107	108	109	110	111	112	113	114
23,22	23,55	23,57	24,00	56,00	74,50	79,37	125,00	314,00

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Se presentaron 114 eventos de fallas de tipo mecánico, en el período de diez meses, en 91 equipos, se calculará la linealización con los datos de la tabla 37-4. El cálculo de las coordenadas para la linealización según la distribución de Weibull de fallas mecánicas está disponibles en el anexo B. Se grafica los puntos obtenidos y se obtiene la recta:

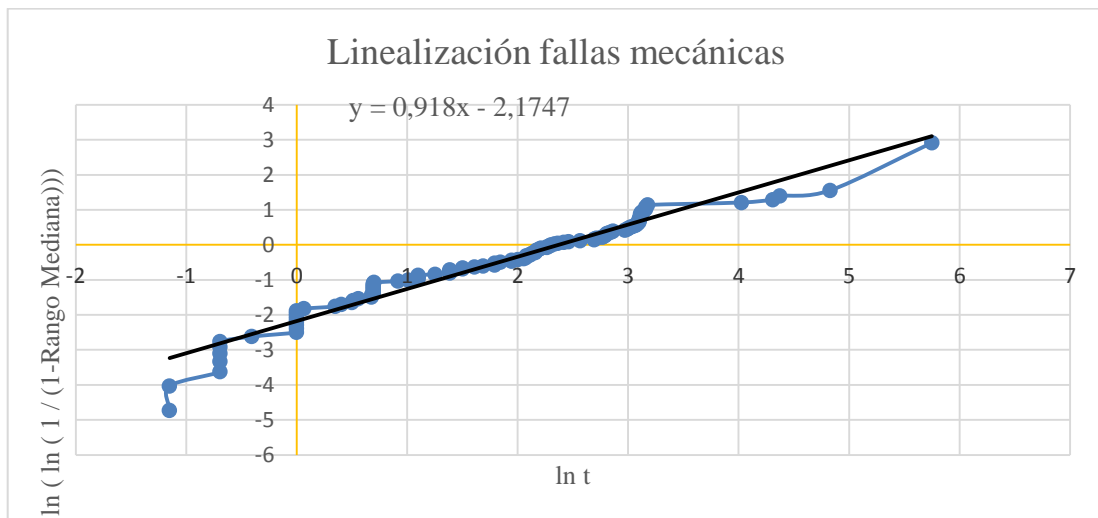


Figura 37-4 Linealización fallas mecánicas

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Parámetros de escala y de forma.

Intercepto	-2,174670906
β	0,918010841
α	10,68557372

Coefficientes de determinación y correlación muy buena > 0.90

R	0,98
R²	0,96

Cálculo de las coordenadas para la Linealización según la distribución de Weibull:

$$M(t) = 1 - e^{-[t/\alpha]^\beta}$$

Tabla 38-4 Datos función de la mantenibilidad fallas mecánicas

t horas	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	65
---------	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

M(t)	0,39	0,61	0,75	0,83	0,89	0,92	0,95	0,97	0,98	0,98	0,99	1,00
%	39,2	61	74,5	83,1	88,7	92,4	94,9	96,5	97,6	98,4	99,2	99,5

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

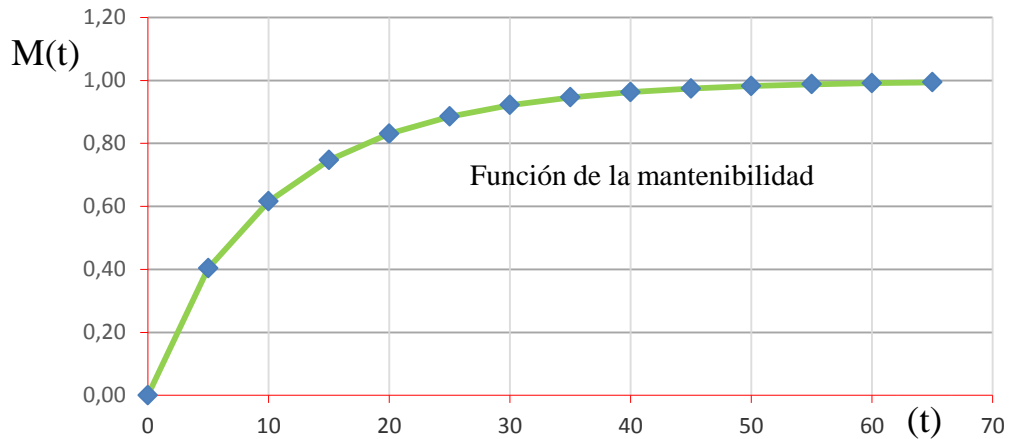


Figura 38-4 Función mantenibilidad fallas mecánicas

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Tiempo medio de reparaciones:

$$MTTR (\text{Octubre}) = \alpha \times \Gamma (1+1/\beta)$$

$$MTTR (\text{Octubre}) = 11,12 \text{ h}$$

$$\mu = 0,090 \text{ reparaciones/h}$$

Fallas eléctricas: En la tabla 60 se presenta el historial de los tiempos de reparación de fallas eléctricas en un período de 10 meses (01/01/2015 al 31/10/2015).

Tabla 39-4 Tiempos de reparación de fallas eléctricas

Fallas eléctricas (91 equipos) 10/01/2015 al 31/10/2015														
Tiempo de reparación en horas														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,20	0,32	0,32	0,67	1,00	1,00	1,00	1,00	1,07	1,57	1,65	1,75	1,97	1,97	2,00
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
2,00	2,00	2,00	2,00	2,45	2,45	3,00	3,07	4,00	4,00	4,50	6,00	6,00	6,00	6,00
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
7,00	7,40	7,82	7,95	7,97	8,70	8,75	9,00	9,15	9,87	10,52	11,00	11,45	11,52	12,25
46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
15,10	16,10	16,32	16,52	17,52	17,92	18,07	18,30	19,95	20,17	21,20	21,72	21,90	22,17	23,30
61	62	63	64	65										
23,82	56,00	74,50	79,37	314,00										

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Se presentaron 65 eventos de fallas de tipo eléctrico en los 91 equipos analizados. Cálculo de las coordenadas para la Linealización según la distribución de Weibull de Fallas eléctricas disponibles en el anexo B. Se grafica los puntos obtenidos y se obtiene la recta:

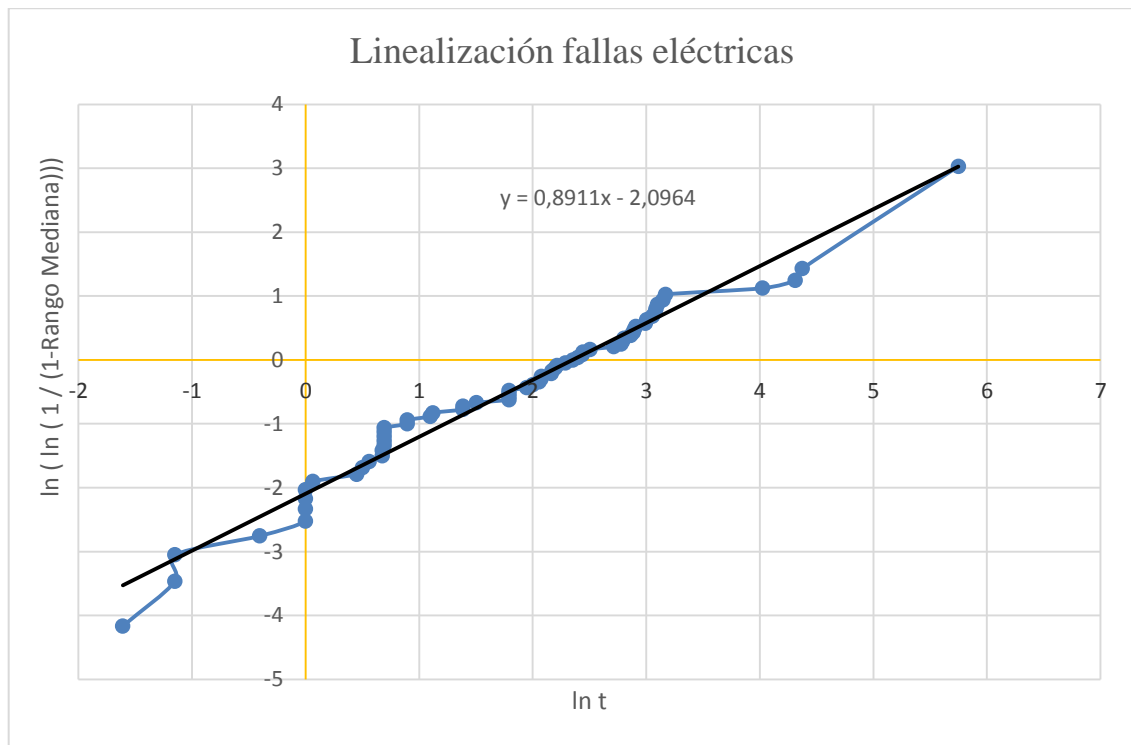


Figura 39-4 Linealización fallas eléctricas.

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Parámetros de escala y de forma.

Intercepto	-2,096
β	0,891
α	10,513

Coefficientes de determinación y correlación muy buena > 0.90

R	0,99
R²	0,97

Se ensayan varios valores de tiempos y se obtiene la curva de la mantenibilidad:

Tabla 40-4 Datos función de la mantenibilidad fallas mecánicas

X	t horas	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
----------	----------------	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Y	M(t)	0,40	0,62	0,75	0,83	0,89	0,92	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99
	%	40,3	61,6	74,7	83	88,5	92,2	94,6	96,3	97,4	98,2	98,7	99,1	99,4

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

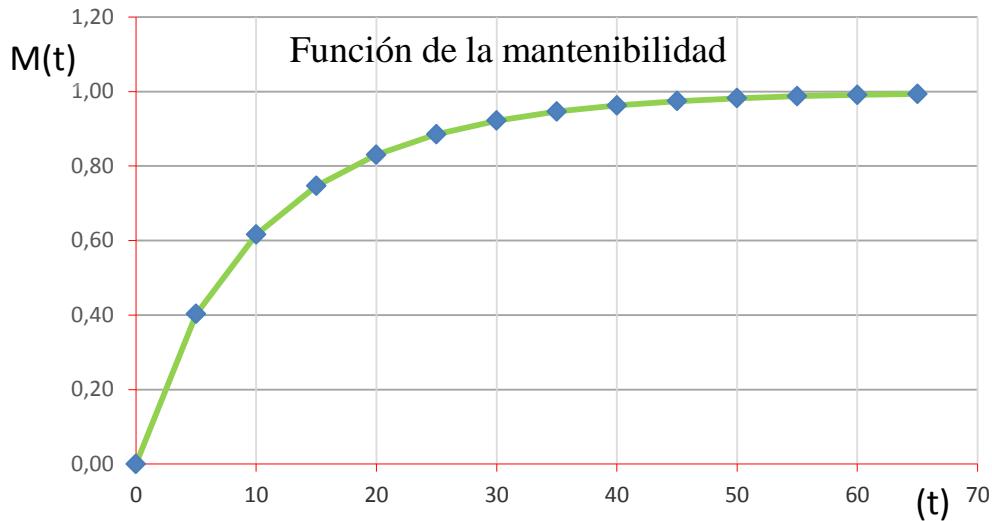


Figura 40-4 Función mantenibilidad fallas eléctricas.

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Tiempo medio de reparaciones:

$$MTTR (\text{Octubre}) = \alpha \times \Gamma (1+1/\beta)$$

$$MTTR (\text{Octubre}) = 11,12 \text{ h}$$

$$\mu = 0,089 \text{ reparaciones/h}$$

Fallas electrónicas: En la tabla 62 se presenta el historial de los tiempos de reparación de fallas electrónicas en un período de 10 meses (01/01/2015 al 31/10/2015).

Tabla 41-4 Tiempos de reparación de fallas electrónicas

Fallas electrónicas (91 equipos) 10/01/2015 al 31/10/2015														
Tiempo de reparación en horas														
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>
1,00	1,17	2,00	2,00	2,45	2,45	3,00	3,00	3,32	5,00	5,00	9,00	9,15	9,87	11,45
<i>16</i>	<i>17</i>	<i>18</i>	<i>19</i>	<i>20</i>	<i>21</i>	<i>22</i>								
11,52	12,25	16,32	18,07	19,82	19,95	47,50								

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Se presentaron 22 eventos de fallas de tipo eléctrico en los 91 equipos analizados. Cálculo de las coordenadas para la Linealización según la distribución de Weibull de fallas electrónicas disponibles en el anexo B. Se grafica los puntos obtenidos y se obtiene la recta:

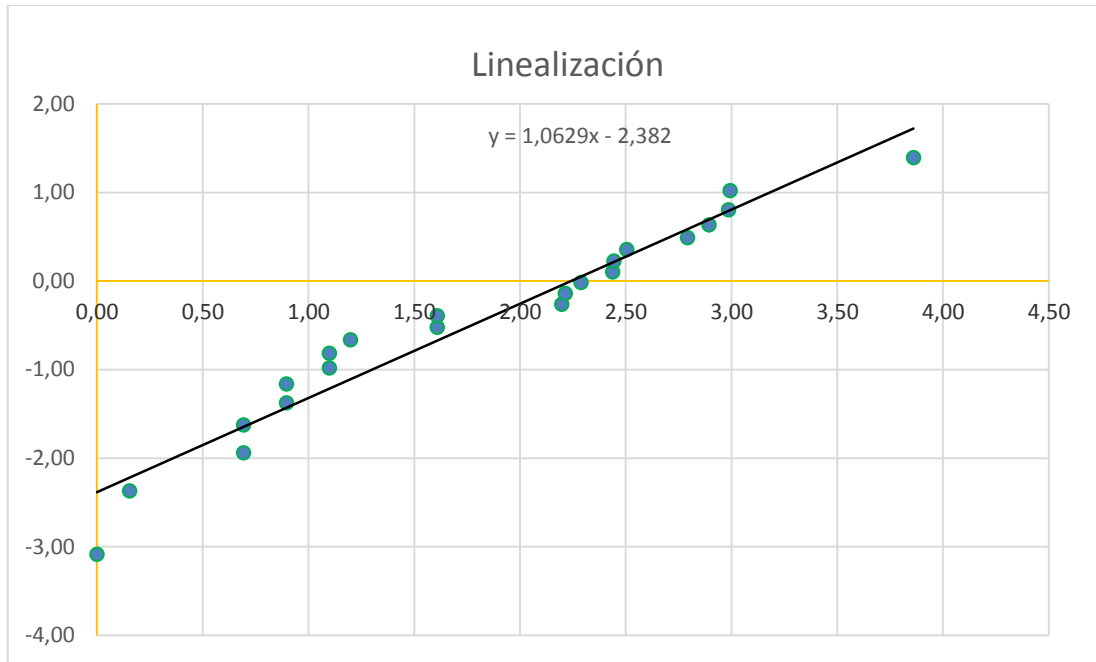


Figura 41-4 Linealización (equipos electrónicos)

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Parámetros de escala y de forma.

Intercepto -2,38
β 1,06
α 9,4

Coefficientes de determinación y correlación muy buena >

0.90

R 0,97
R² 0,95

Se ensayan varios valores de tiempos y se obtiene la curva de la mantenibilidad:

$$M(t) = 1 - e^{-[t/\alpha]^\beta}$$

Tabla 42-4 Datos función de la mantenibilidad quipos electrónicos

X	t horas	5	10	15	20	25	30	35	40	45
Y	M(t)	0,40	0,66	0,81	0,89	0,94	0,97	0,98	0,99	1,00
	%	40,01	65,62	80,66	89,25	94,08	96,77	98,25	99,05	99,49

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

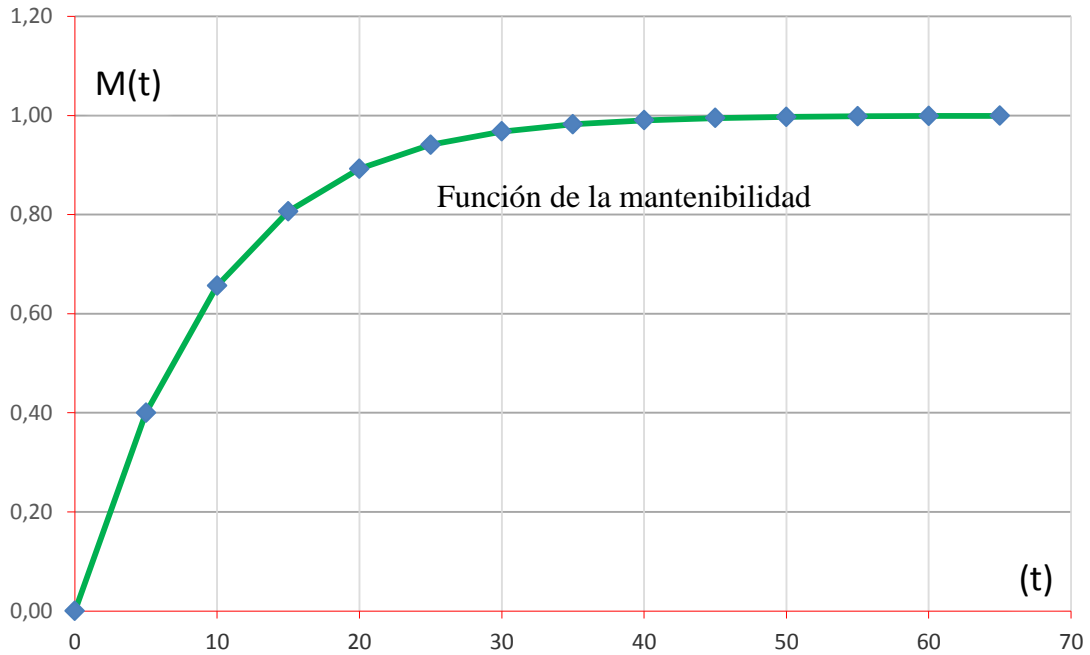


Figura 42-4 Función mantenibilidad (equipos electrónicos).

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Tiempo medio de reparaciones:

$$MTTR (\text{Octubre}) = \alpha \times \Gamma (1+1/\beta)$$

$$MTTR (\text{Octubre}) = 9,181 \text{ h}$$

$$\mu = 0,109 \text{ reparaciones/h}$$

4.1.6 Resumen de mantenibilidad por tipo de falla.

El mayor número de fallas son mecánicas (114), seguido por las fallas eléctricas (65), y en último lugar las fallas electrónicas (22), en la tabla 64 se presentan el número de fallas y el tiempo total de horas por reparación por tipo de falla.

Tabla 43-4 Reparaciones y horas de reparación por tipo de falla

	F. mecánicas	F. eléctricas	F. electrónicas
Número de Reparaciones	114	65	22
Tiempo total de reparaciones (h)	1639,08	1047,18	215,27

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Los datos de la tabla 43-4 se presentan gráficamente en la figura 43-4 (número de reparaciones y las horas totales de tiempos de reparación por tipo de falla).

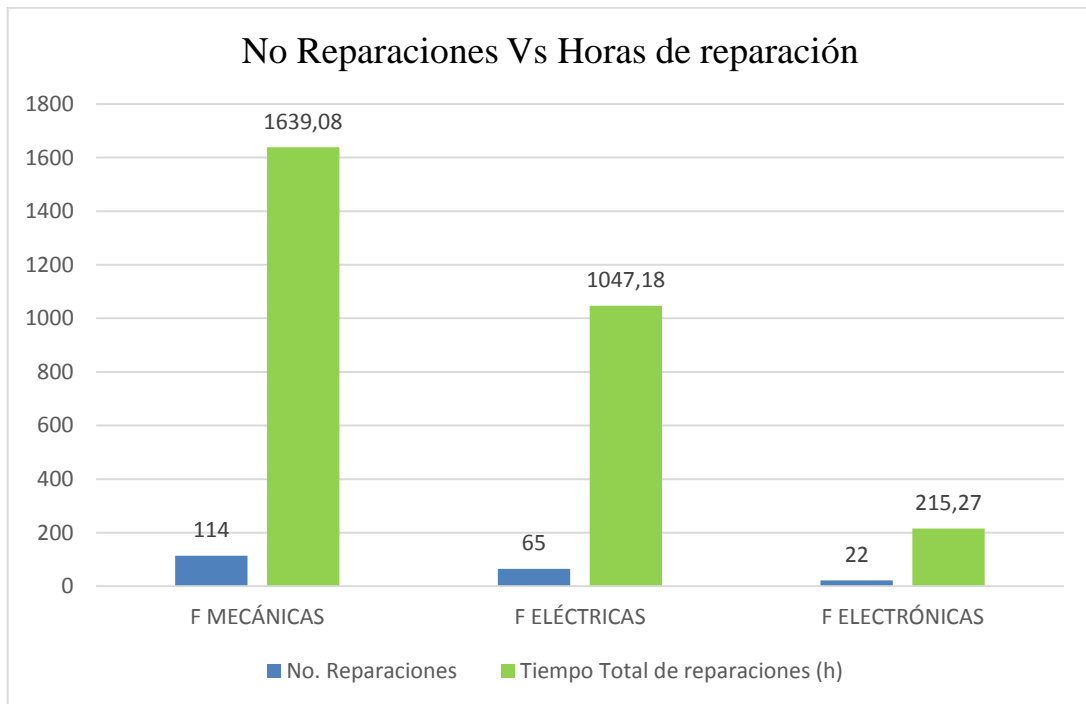


Figura 43-4 Reparaciones Vs horas de reparación por tipo de falla
 Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Dividiendo el número de horas totales de reparación por tipo de falla para el número de fallas obtenemos las horas promedio por reparación para cada tipo de falla:

Tabla 44-4 Horas promedio por reparación por tipo de falla

Horas promedio por reparación		
F mecánicas	F eléctricas	F electrónicas
14,4	16,1	9,8

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

La representación gráfica de este promedio se representa en la figura 44-4.

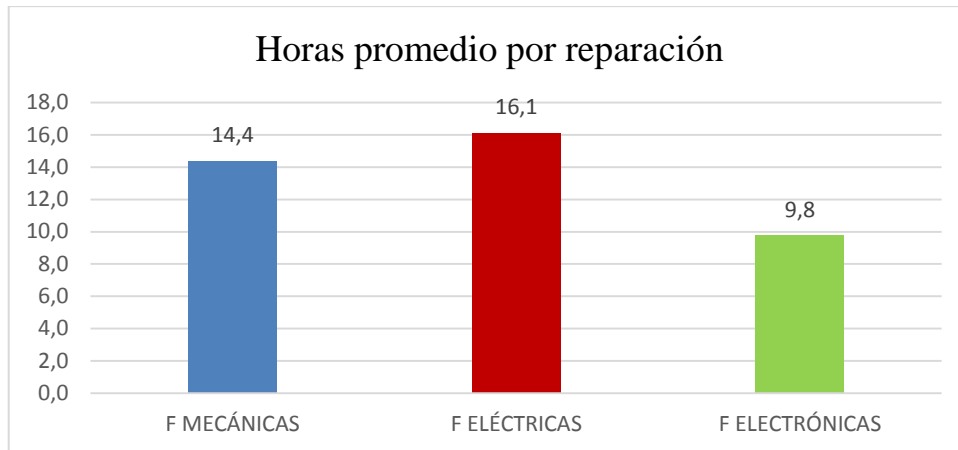


Figura 44-4 Horas promedio por reparación por tipo de falla

Elaborado por: César Gallegos, 2015

A continuación se presenta un resumen probabilístico de la mantenibilidad por tipo de falla analizada en el período del 01/01/2015 al 31/10/2015.

Tabla 45-4 Probabilidad de reparación por tipo de falla

Análisis probabilístico de la mantenibilidad por tipo de falla (%)			
TTR(h)	F. Mecánicas	F. Eléctricas	F. Electrónicas
2	19,32	20,38	17,55
10	60,97	61,57	65,62
20	83,10	83,03	89,25
40	96,52	96,27	99,05

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

En la tabla 45-4 se aprecia el cálculo probabilístico de la mantenibilidad por tipo de falla, analizado para 4 tiempos diferentes (2h, 10 h, 20 h y 40 h). Si se analizan los datos se puede notar que las probabilidades de reparación para fallas mecánicas y eléctricas presentan valores muy cercanos, tiene prácticamente las mismas probabilidades de reparación. Las fallas de tipo electrónico presentan una mayor probabilidad de reparación en tiempos superiores a 10h. En la figura 45-4 podemos revisar los datos de las probabilidades de reparación para los diferentes tipos de falla.

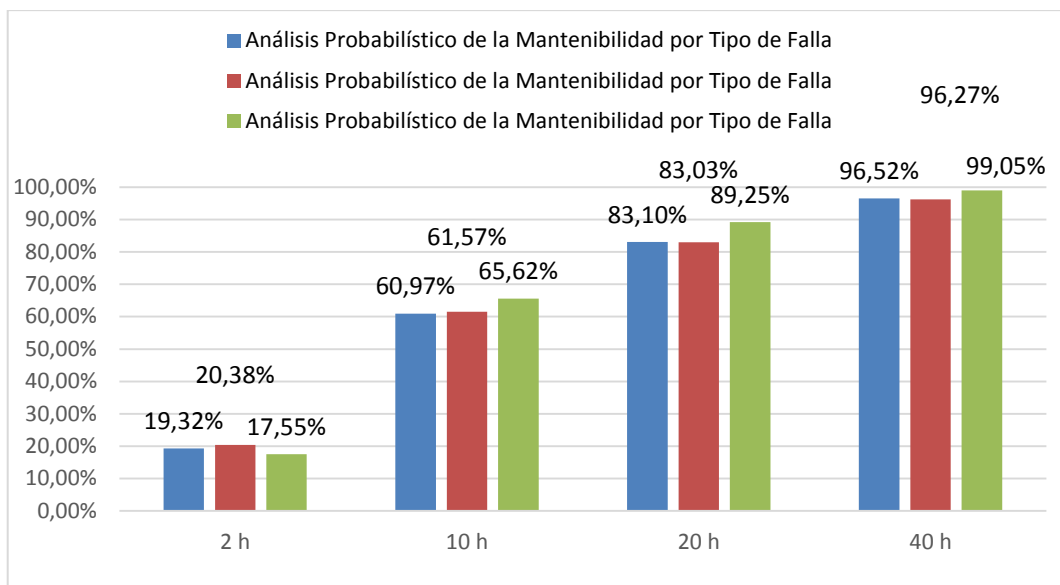


Figura 45-4 Probabilidades de reparación por tipo de falla (2h, 10h, 20h y 40h)

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

En la tabla 46-4 se muestran los valores calculados de los parámetros: de forma (β) y de escala (α), el MTTR de la distribución de Weibull y la tasa de reparaciones μ , tomados desde enero a octubre del 2015, calculados por tipo de falla.

Parámetro	F. Mecánicas	F. Eléctricas	F. Electrónicas	Unidad
MTTR	11,12	11,12	9,18	h
μ	0,09	0,09	0,11	Repara./h
β	0,92	0,89	1,06	-
α	10,69	10,51	9,40	h

Tabla 46-4 Parámetros (MTTR, μ , β , α)

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

En el estudio realizado se encontró una coincidencia entre los MTTR calculados para fallas de tipo eléctrico y fallas de tipo mecánico con un valor de 11,12h. Las fallas electrónicas tienen un mejor valor de MTTR de 9,18. Estos cálculos se representan gráficamente en la figura 46-4.

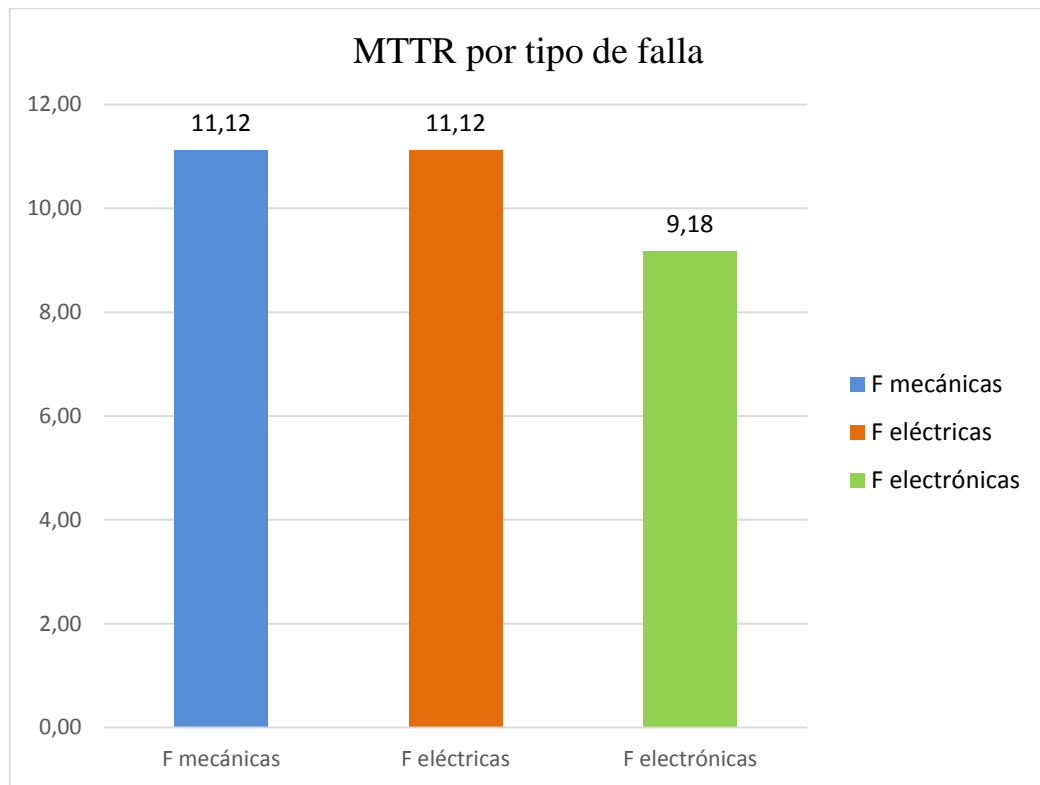


Figura 46-4 MTTR por tipo de falla

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

4.2 Cálculo de los atributos de la mantenibilidad

Para el cálculo de los atributos de la mantenibilidad se seleccionaron equipos de potencias similares con el objetivo de compararlos, estos equipos trabajan en contextos operacionales similares y son atendidos por el mismo grupo de trabajo, la muestra de equipos es la siguiente:

- Caterpillar C15.
- Cummins CS500C.
- MTU P410.

4.2.1 Cálculo de atributos generales.

Los atributos generales son características intrínsecas de la máquina que no están relacionados directamente con los niveles de mantenimiento, cada atributo debe ser evaluado por separado.

El análisis fue realizado por técnicos con experiencia en reparaciones y dirigido por el investigador.

El primer paso es entender el significado correcto o la definición de cada atributo, su concepto está definido adecuadamente en la norma pero siempre existirá subjetividad o diferentes criterios técnicos.

No todos los atributos tienen la misma importancia, el segundo paso fue definir los valores del peso de cada atributo para la mantenibilidad en una escala de 0 a 4, criterio que será utilizado en todos los cálculos.

Para la evaluación de cada atributo se utilizaron los formatos descritos en el Anexo A, finalmente se suman las valoraciones de cada atributo para obtener el indicador de la mantenibilidad general.

La evaluación de los atributos debe realizarse periódicamente, en la norma no se especifica con qué frecuencia deben ser calculados los atributos. Por la complejidad de la tarea y la cantidad de equipos a evaluar no sería factible calcular los atributos con una periodicidad mensual. La frecuencia del cálculo del indicador podría ser trimestral o semestral, considerando aspectos como grado de utilización del dispositivo, cambios en su contexto operacional o la efectividad de políticas implementadas que necesitemos evaluar.

El cálculo del peso de cada atributo sirve para obtener el indicador de mantenibilidad general que es la suma del peso de todos los atributos. Para la representación gráfica de los atributos se utiliza un gráfico tipo radial donde se representa las evaluaciones realizadas a cada atributo en su escala de 0 a 4. Debe graficarse la evaluación del atributo, no el peso del atributo. En las tablas 47.4, 48.4, 49.4 se presenta las matrices de cálculo de los Atributos Generales para los tres equipos seleccionados para el análisis.

Motor Caterpillar C15

Tabla 47-4 Atributos generales de la mantenibilidad Caterpillar C15

Generador Caterpillar C15					
Atributos Generales		Evaluación del atributo	Importancia para la mantenibilidad	Cálculo del peso	Peso del atributo
		Gi (0a 4)	PGi (0a4)	$\frac{PGi}{\sum PGi}$	$\frac{Gi \times (PGi)}{\sum PGi}$
G1	Simplicidad	2	3	0,17	0,33
G2	Identificación	3	2	0,11	0,33
G3	Modularización	2	2	0,11	0,22
G4	Tribología	3	1	0,06	0,17
G5	Ergonomía	3	2	0,11	0,33
G6	Estandarización	3	1	0,06	0,17
G7	Vigilancia	4	4	0,22	0,89
G8	Relación con el fabric.	3	3	0,17	0,50
Total			18	1	
Indicador de mantenibilidad general					2,94

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015
Fuente: AENOR UNE 151001,2011

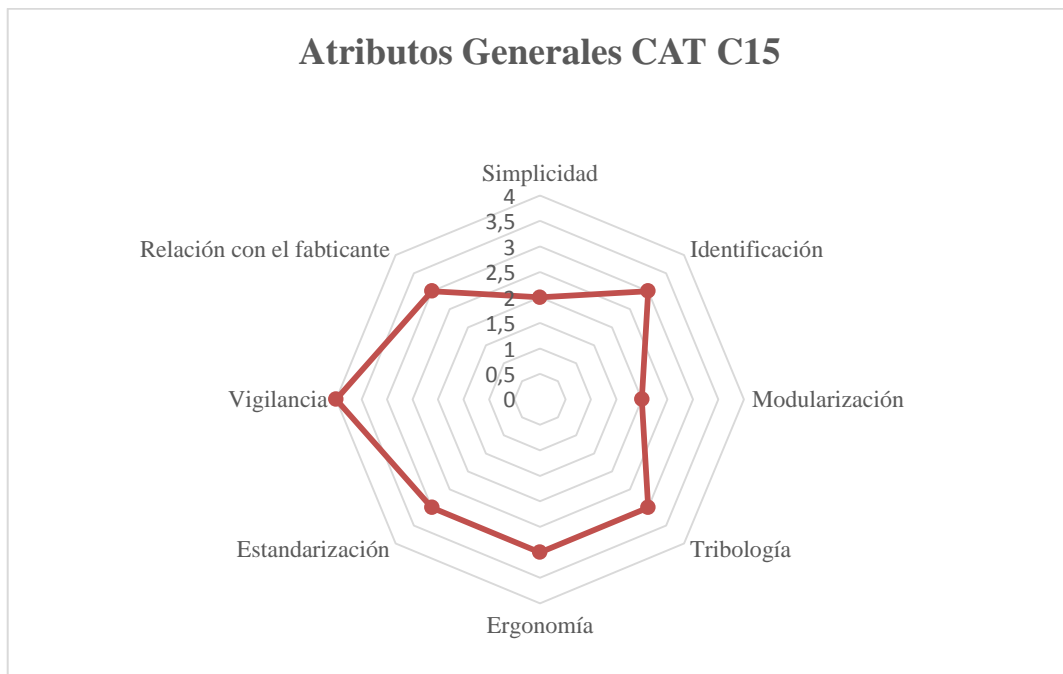


Figura 47-4 Atributos generales Caterpillar C15

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015
Fuente: AENOR UNE 151001,2011

Motor Cummins CS500C

Tabla 48-4 Atributos generales de la mantenibilidad Cummins CS500C

Generador Cummins SC500CC6S					
Atributos Generales		Evaluación del atributo	Importancia para la mantenibilidad	Cálculo del peso	Peso del atributo
		Gi (0a 4)	PGi (0a4)	$\frac{PGi}{\sum PGi}$	$G_i \times (\frac{PGi}{\sum PGi})$
G1	Simplicidad	3	3	0,17	0,50
G2	Identificación	2	2	0,11	0,22
G3	Modularización	2	2	0,11	0,22
G4	Tribología	3	1	0,06	0,17
G5	Ergonomía	2	2	0,11	0,22
G6	Estandarización	2	1	0,06	0,11
G7	Vigilancia	2	4	0,22	0,44
G8	Relación con el fabricante	2	3	0,17	0,33
Total			18	1	
Indicador de mantenibilidad general					2,22

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015
Fuente: AENOR UNE 151001,2011

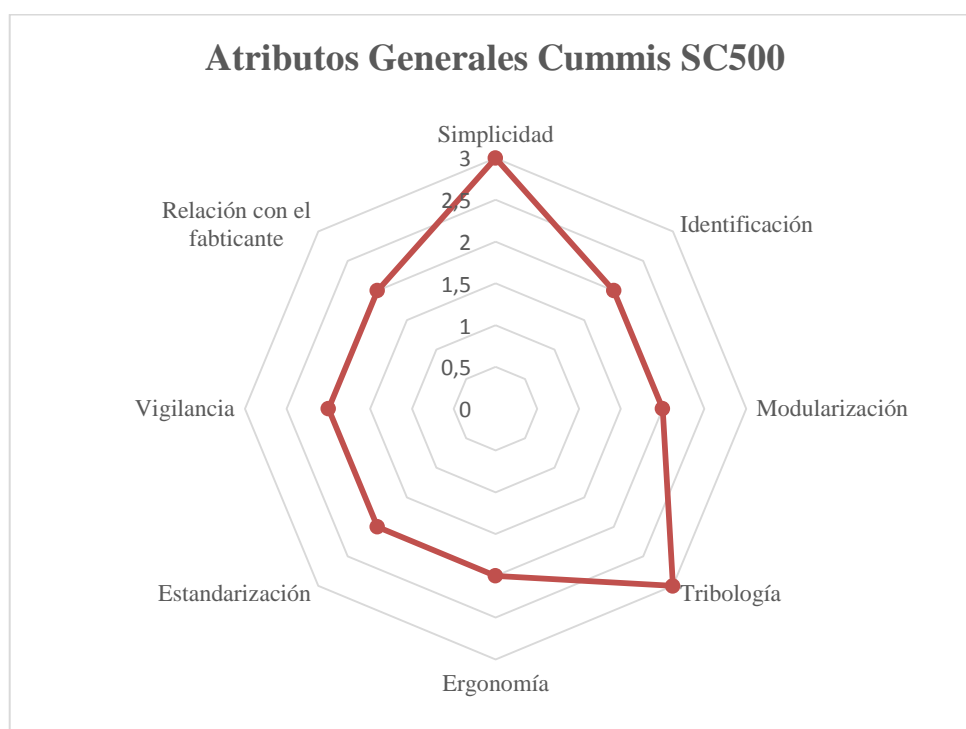


Figura 48-4 Atributos generales Cummins CS500C

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015
Fuente: AENOR UNE 151001,2011

Motor MTU P410

Tabla 49-4 Atributos generales de la mantenibilidad MTU P410

Generador MTU P410					
Atributos Generales		Evaluación del atributo	Importancia para la mantenibilidad	Cálculo del peso	Peso del atributo
		Gi (0a 4)	PGi (0a4)	PGi / Σ PGi	Gi x (PGi / Σ PG)
G1	Simplicidad	2	3	0,17	0,33
G2	Identificación	2	2	0,11	0,22
G3	Modularización	2	2	0,11	0,22
G4	Tribología	3	1	0,06	0,17
G5	Ergonomía	2	2	0,11	0,22
G6	Estandarización	2	1	0,06	0,11
G7	Vigilancia	3	4	0,22	0,67
G8	Relación con el fabricante	2	3	0,17	0,33
Total			18	1	
Indicador de mantenibilidad general					2,28

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015
Fuente: AENOR UNE 151001,2011

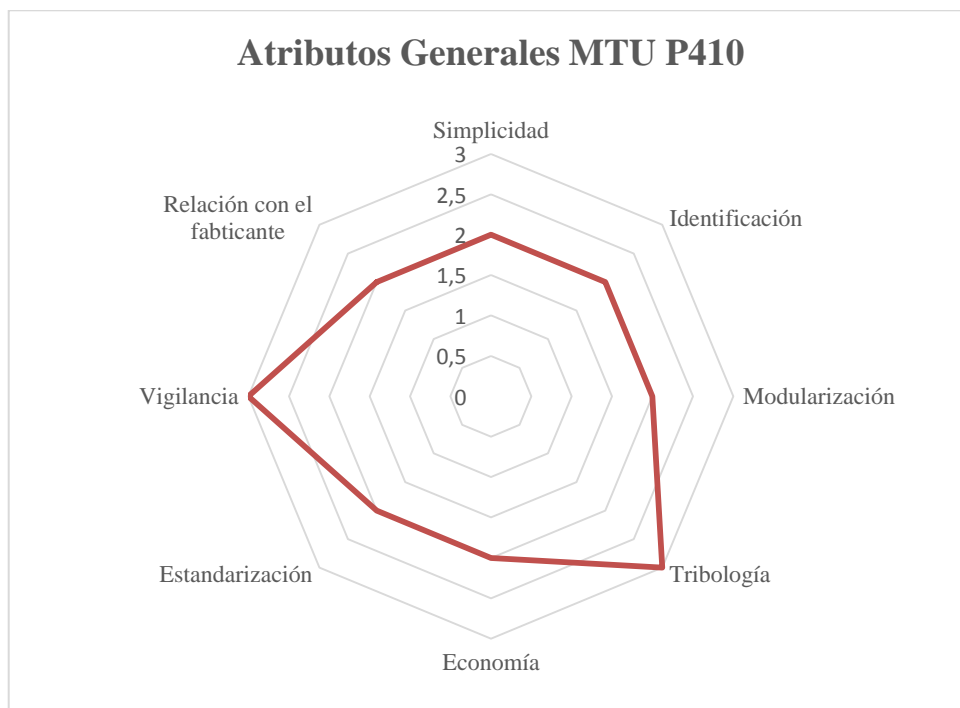


Figura 49-4 Atributos generales MTU P410

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015
Fuente: AENOR UNE 151001,2011

En la tabla 50-4 se resumen de la evaluación de los atributos generales de la mantenibilidad para comparar los valores entre los equipos seleccionados para el análisis.

Tabla 50-4 Resumen de los atributos generales

Atributos generales		Caterpillar	Cummins	MTU
		C15	SC500CC6S	P410
G1	Simplicidad	2	3	2
G2	Identificación	3	2	2
G3	Modularización	2	2	2
G4	Tribología	3	3	3
G5	Ergonomía	3	2	2
G6	Estandarización	3	2	2
G7	Vigilancia	4	2	3
G8	Relación con el fabricante	3	2	2

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Fuente: AENOR UNE 151001,2011

4.2.2 *Resumen atributos generales de la mantenibilidad*

De los atributos generales se establecen las siguientes conclusiones:

- Los equipos Cummins son por diseño son equipos con una tecnología más simple especialmente la parte electrónica, se requiere menos conocimiento el personal.
- La identificación de componentes está mejor definida en los equipos Caterpillar, éstos poseen varias placas de información: De datos equipo, de componentes instalados, de seguridad de emisiones, de parámetros del motor.
- La modularidad es la misma en todos los equipos.
- La elección de materiales y repuestos de recambio por desgaste o lubricación están bien identificados en todos los equipos, sin embargo se puede seguir probando con otros elementos para mejorar el performance de los equipos sobre todo en el sistema de alimentación de combustible porque se producen muchas fallas por la calidad del diésel.

- Equipos Caterpillar tiene mejor ergonomía para hacer trabajos de reparación, en especial en los equipos insonoros de fábrica. Este atributo podría variar y el dispositivo cambia de contexto operacional.
- Es más fácil conseguir repuestos Caterpillar originales y sus equivalentes en el mercado que las marcas Cummins y MTU. Algunos componentes son estándar e intercambiables con otros modelos.
- Los Caterpillar tienen acoplados módulos electrónicos que facilitan la identificación de algunos tipos de fallo. Los equipos Caterpillar cuentan con un módulo de diagnóstico de control electrónico EMC, este módulo identifica el problema específico, incluso se puede monitorear fácilmente históricos de los parámetros de operación.
- La relación con los representantes de la marca Caterpillar es mejor y tiene más productos y servicios.

Un esquema comparativo de los atributos generales se muestra en la figura 50-4 a continuación.

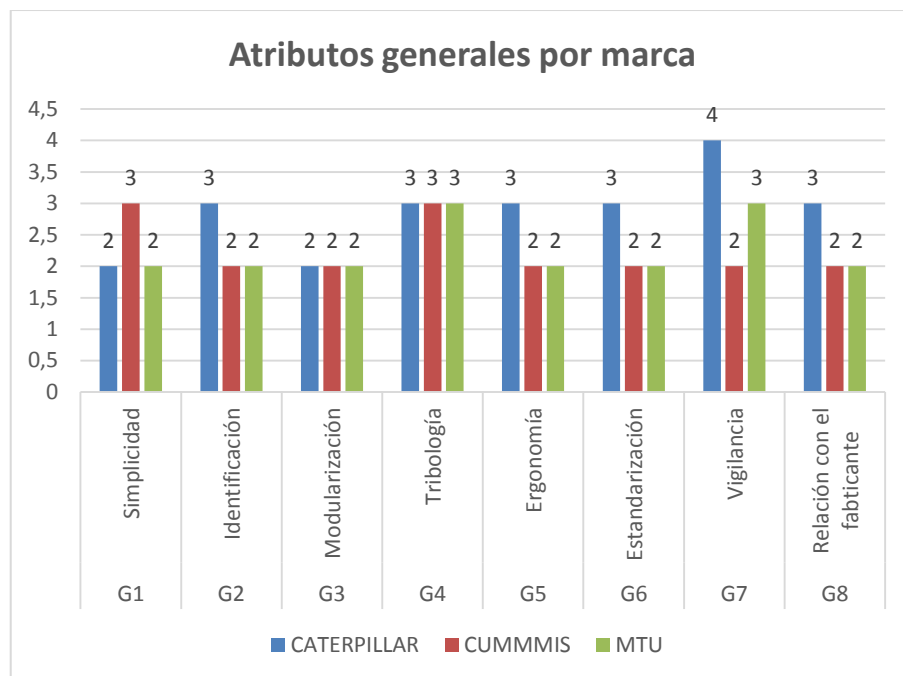


Figura 50-4 Resumen de los atributos generales

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Fuente: AENOR UNE 151001.2011

La calificación del indicador general de cada equipo se muestra en la tabla 51-4.

Tabla 51-4 Calificación de los atributos generales

Mantenibilidad atributos generales	
Caterpillar C15	2,94
Cummins SC500C	2,22
Mtu P410	2,28

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015
Fuente: AENOR UNE 151001,2011

En el estudio de los atributos generales los equipos Caterpillar son los que consiguieron más alta puntuación, seguidos por los MTU y al final los Cummins. El análisis es proponer acciones correctivas para mejorar estos indicadores

4.2.3 Cálculo de atributos específicos por niveles de mantenimiento

El cálculo de los atributos específicos es un proceso más largo, porque hay que evaluar los atributos para cada nivel de mantenimiento. Antes de evaluar los atributos específicos, primero hay que comprender bien el concepto de los niveles de mantenimiento. Un nivel de mantenimiento relaciona la complejidad de las tareas de mantenimiento, los recursos necesarios para ejecutar las tareas y el tiempo necesario para realizarlas, el concepto de cada nivel de mantenimiento definido en la norma se encuentra descrito en la tabla 16-3.

Luego se debe definir la importancia de cada atributo específico en una escala de 0 a 4, valores que serán utilizados en todos los cálculos y en todos los niveles de mantenimiento, los atributos específicos dependen no solo del diseño del equipo, también se conjugan condiciones como la formación del personal y el soporte logístico, finalmente para cada equipo se calcula el algoritmo para obtener el valor del indicador en cada nivel de mantenimiento.

La evaluación de los indicadores fue realizada por el mismo personal técnico que evaluó los atributos generales. La evaluación se ejecutó a los mismos equipos y en las mismas condiciones de operación. A continuación se presentan los cálculos de la mantenibilidad específica para cada nivel de mantenimiento de los tres equipos seleccionados.

Motor Caterpillar C15. NIVEL 1

Tabla 52-4 Atributos específicos N1 Caterpillar C15

Generador Caterpillar C15					
Atributos específicos Nivel 1		Evaluación del atributo	Importancia para la mantenibilidad	Cálculo del peso	Peso del atributo
		Vi (0a 4)	PVi (0a4)	$PVi / \sum PVi$	$Vi \times (PVi / \sum PG)$
V1	Accesibilidad	4	3	0,13	0,50
V2	Montaje/desmontaje	3	2	0,08	0,25
V3	Formación	3	3	0,13	0,38
V4	Organización del personal	4	2	0,08	0,33
V5	Entorno	4	2	0,08	0,33
V6	Repuestos	4	4	0,17	0,67
V7	Herramientas y útiles	4	3	0,13	0,50
V8	Coordinación interdepartamental	4	2	0,08	0,33
V9	Documentación	3	3	0,13	0,38
Total			24	1	
Indicador de mantenibilidad específico					3,67

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015
Fuente: AENOR UNE 151001,2011

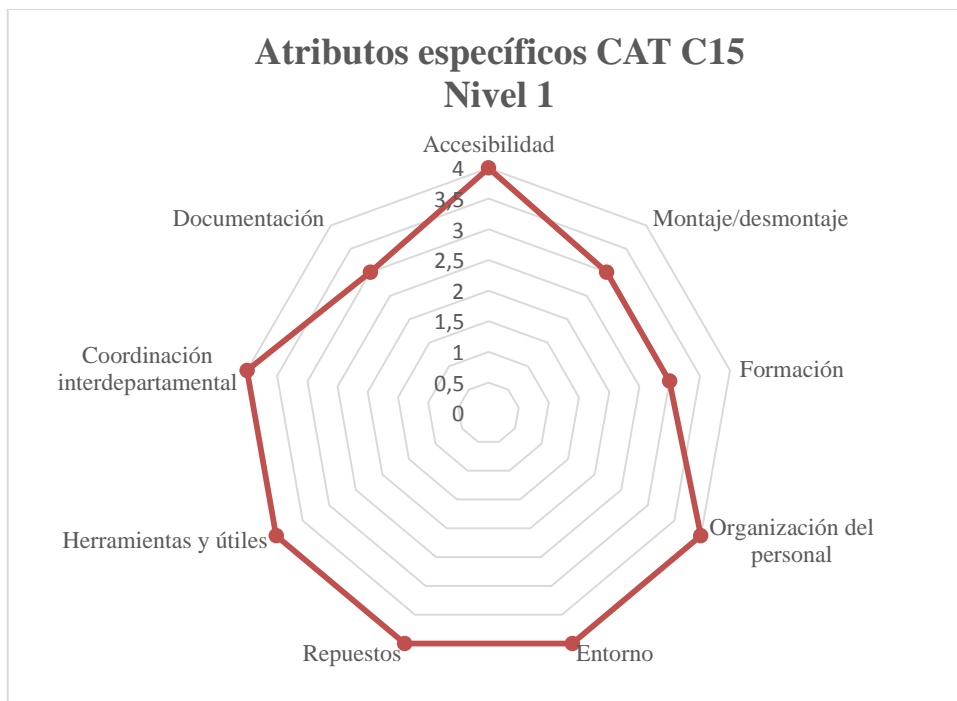


Figura 51-4 Atributos específicos N1 Caterpillar C15

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015
Fuente: AENOR UNE 151001,2011

NIVEL 2

Tabla 53-4 Atributos específicos N2 Caterpillar C15

Generador Caterpillar C15					
Atributos específicos Nivel 2		Evaluación del atributo	Importancia para la mantenibilidad	Cálculo del peso	Peso del atributo
		Vi (0a 4)	PVi (0a4)	$PVi / \sum PVi$	$Vi \times (PVi / \sum PG)$
V1	Accesibilidad	3	3	0,13	0,38
V2	Montaje/desmontaje	3	2	0,08	0,25
V3	Formación	3	3	0,13	0,38
V4	Organización del personal	4	2	0,08	0,33
V5	Entorno	3	2	0,08	0,25
V6	Repuestos	3	4	0,17	0,50
V7	Herramientas y útiles	3	3	0,13	0,38
V8	Coordinación interdepartamental	3	2	0,08	0,25
V9	Documentación	3	3	0,13	0,38
Total			24	1	
Indicador de mantenibilidad específico					3,08

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Fuente: AENOR UNE 151001,2011

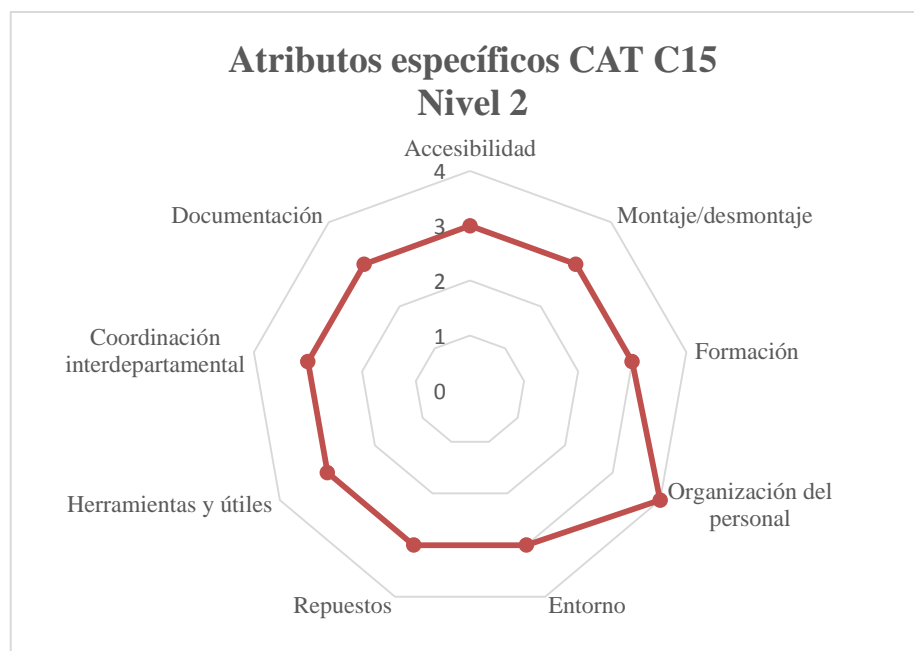


Figura 52-4 Atributos específicos N2 Caterpillar C15

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Fuente: AENOR UNE 151001,2011

NIVEL 3

Tabla 54-4 Atributos específicos N3 Caterpillar C15

Generador Caterpillar C15					
Atributos específicos Nivel 3		Evaluación del atributo	Importancia para la mantenibilidad	Cálculo del peso	Peso del atributo
		Vi (0a 4)	PVi (0a4)	$PVi / \sum PVi$	$Vi \times (PVi / \sum PG)$
V1	Accesibilidad	3	3	0,13	0,38
V2	Montaje/desmontaje	2	2	0,08	0,17
V3	Formación	2	3	0,13	0,25
V4	Organización del personal	3	2	0,08	0,25
V5	Entorno	3	2	0,08	0,25
V6	Repuestos	3	4	0,17	0,50
V7	Herramientas y útiles	2	3	0,13	0,25
V8	Coordinación interdepartamental	3	2	0,08	0,25
V9	Documentación	2	3	0,13	0,25
Total			24	1,00	
Indicador de mantenibilidad específico					2,54

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015
Fuente: AENOR UNE 151001,2011

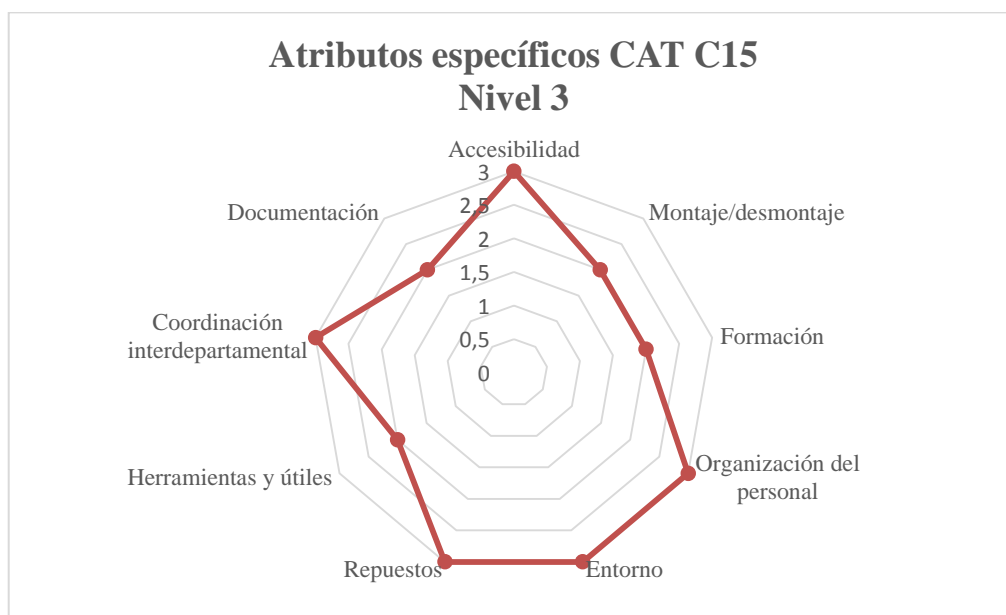


Figura 53-4 Atributos específicos N3 Caterpillar C15

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015
Fuente: AENOR UNE 151001,2011

NIVEL 4

Tabla 55-4 Atributos específicos N4 Caterpillar C15

Generador Caterpillar C15					
Atributos específicos Nivel 4		Evaluación del atributo	Importancia para la mantenibilidad	Cálculo del peso	Peso del atributo
		V_i (0a 4)	PV_i (0a4)	$PV_i / \sum PV_i$	$V_i \times (PV_i / \sum PG)$
V1	Accesibilidad	2	3	0,13	0,25
V2	Montaje/desmontaje	2	2	0,08	0,17
V3	Formación	2	3	0,13	0,25
V4	Organización del personal	2	2	0,08	0,17
V5	Entorno	2	2	0,08	0,17
V6	Repuestos	2	4	0,17	0,33
V7	Herramientas y útiles	3	3	0,13	0,38
V8	Coordinación interdepartamental	1	2	0,08	0,08
V9	Documentación	2	3	0,13	0,25
Total			24	1	
Indicador de mantenibilidad específico					2,04

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015
Fuente: AENOR UNE 151001,2011

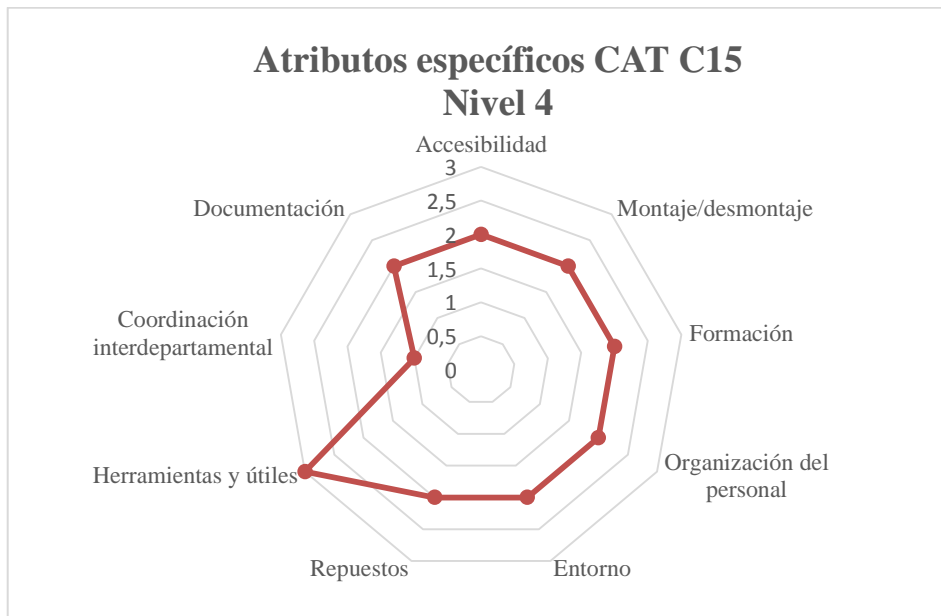


Figura 54-4 Atributos específicos N4 Caterpillar C15

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015
Fuente: AENOR UNE 151001,2011

NIVEL 5

Tabla 56-4 Atributos específicos N5 Caterpillar C15

Generador Caterpillar C15					
Atributos específicos Nivel 5		Evaluación del atributo	Importancia para la mantenibilidad	Cálculo del peso	Peso del atributo
		Vi (0a 4)	PVi (0a4)	$PVi / \sum PVi$	$Vi \times (PVi / \sum PG)$
V1	Accesibilidad	2	3	0,13	0,25
V2	Montaje/desmontaje	2	2	0,08	0,17
V3	Formación	2	3	0,13	0,25
V4	Organización del personal	2	2	0,08	0,17
V5	Entorno	3	2	0,08	0,25
V6	Repuestos	3	4	0,17	0,50
V7	Herramientas y útiles	3	3	0,13	0,38
V8	Coordinación interdepartamental	1	2	0,08	0,08
V9	Documentación	1	3	0,13	0,13
Total			24	1	
Indicador de mantenibilidad específico					2,17

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015
Fuente: AENOR UNE 151001,2011

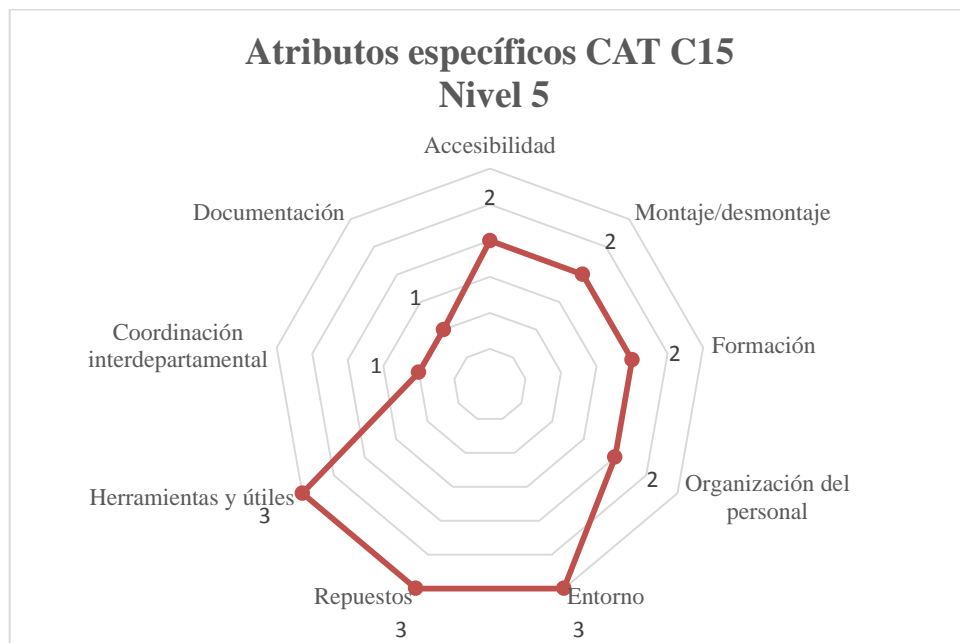


Figura 55-4 Atributos específicos N5 Caterpillar C15

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015
Fuente: AENOR UNE 151001,2011

Motores Cummins CS500C

NIVEL 1

Tabla 57-4 Atributos específicos N1 Cummins CS500C

Generador Cummins SC500CC6S					
Atributos específicos Nivel 1		Evaluación del atributo	Importancia para la mantenibilidad	Cálculo del peso	Peso del atributo
		Vi (0a 4)	PVi (0a4)	$PVi / \sum PVi$	$Vi \times (PVi / \sum PG)$
V1	Accesibilidad	4	3	0,13	0,50
V2	Montaje/desmontaje	3	2	0,08	0,25
V3	Formación	4	3	0,13	0,50
V4	Organización del personal	4	2	0,08	0,33
V5	Entorno	3	2	0,08	0,25
V6	Repuestos	4	4	0,17	0,67
V7	Herramientas y útiles	4	3	0,13	0,50
V8	Coordinación interdepartamental	4	2	0,08	0,33
V9	Documentación	3	3	0,13	0,38
Total			24	1	
Indicador de mantenibilidad específico					3,71

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015
Fuente: AENOR UNE 151001,2011

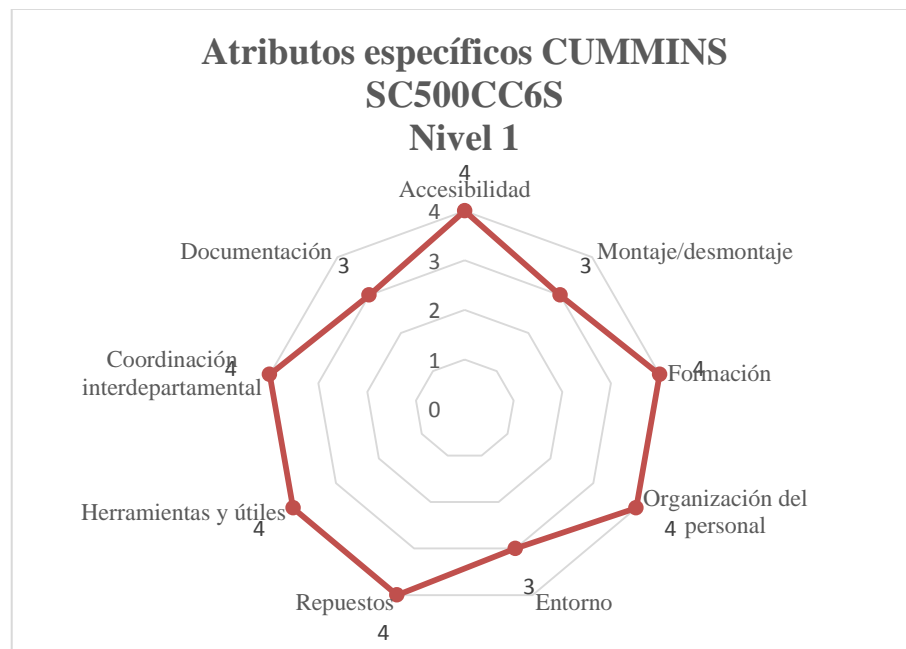


Figura 56-4 Atributos Específicos N1 Cummins CS500C

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015
Fuente: AENOR UNE 151001,2011

NIVEL 2

Tabla 58-4 Atributos específicos N2 Cummins CS500C

Generador Cummins SC500CC6S					
Atributos específicos Nivel 2		Evaluación del atributo	Importancia para la mantenibilidad	Cálculo del peso	Peso del atributo
		Vi (0a 4)	PVi (0a4)	$PVi / \sum PVi$	$Vi \times (PVi / \sum PG)$
V1	Accesibilidad	3	3	0,13	0,38
V2	Montaje/desmontaje	3	2	0,08	0,25
V3	Formación	4	3	0,13	0,50
V4	Organización del personal	4	2	0,08	0,33
V5	Entorno	3	2	0,08	0,25
V6	Repuestos	3	4	0,17	0,50
V7	Herramientas y útiles	3	3	0,13	0,38
V8	Coordinación interdepartamental	3	2	0,08	0,25
V9	Documentación	3	3	0,13	0,38
Total			24	1	
Indicador de mantenibilidad específico					3,21

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015
Fuente: AENOR UNE 151001,2011

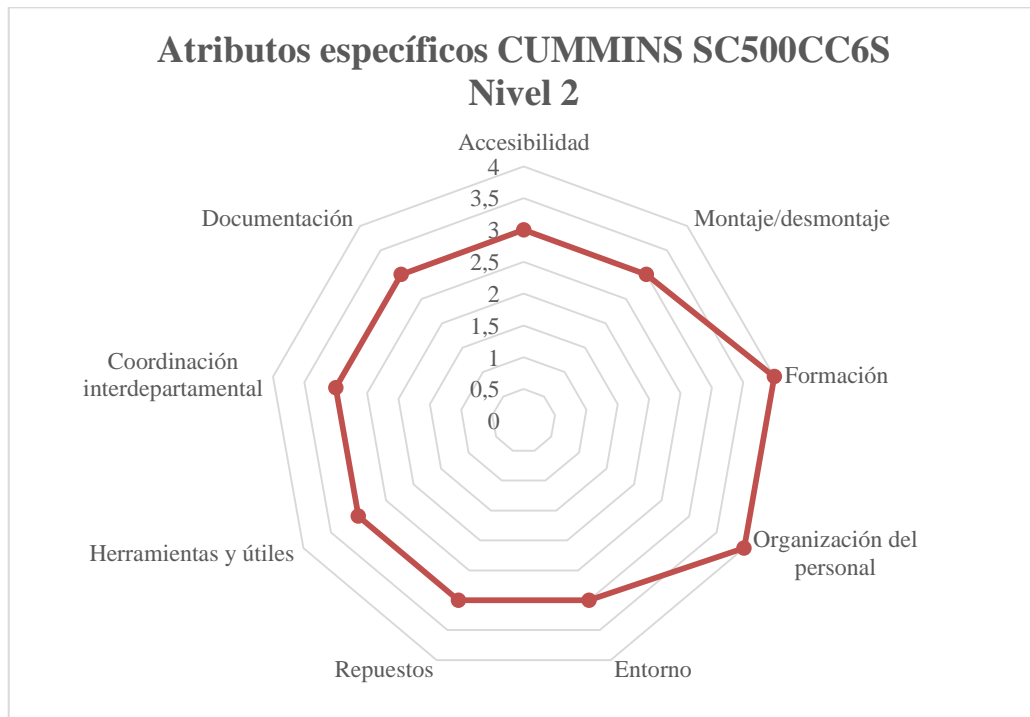


Figura 57-4 Atributos específicos N2 Cummins CS500C

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015
Fuente: AENOR UNE 151001,2011

NIVEL 3

Tabla 59-4 Atributos específicos N3 Cummins CS500C

Generador Cummins SC500CC6S					
Atributos específicos Nivel 3		Evaluación del atributo	Importancia para la mantenibilidad	Cálculo del peso	Peso del atributo
		V_i (0a 4)	PV_i (0a4)	$PV_i / \sum PV_i$	$V_i \times (PV_i / \sum PV_i)$
V1	Accesibilidad	1	3	0,13	0,13
V2	Montaje/desmontaje	1	2	0,08	0,08
V3	Formación	3	3	0,13	0,38
V4	Organización del personal	3	2	0,08	0,25
V5	Entorno	3	2	0,08	0,25
V6	Repuestos	3	4	0,17	0,50
V7	Herramientas y útiles	3	3	0,13	0,38
V8	Coordinación interdepartamental	3	2	0,08	0,25
V9	Documentación	1	3	0,13	0,13
Total			24	1,00	
Indicador de mantenibilidad específico					2,33

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Fuente: AENOR UNE 151001,2011

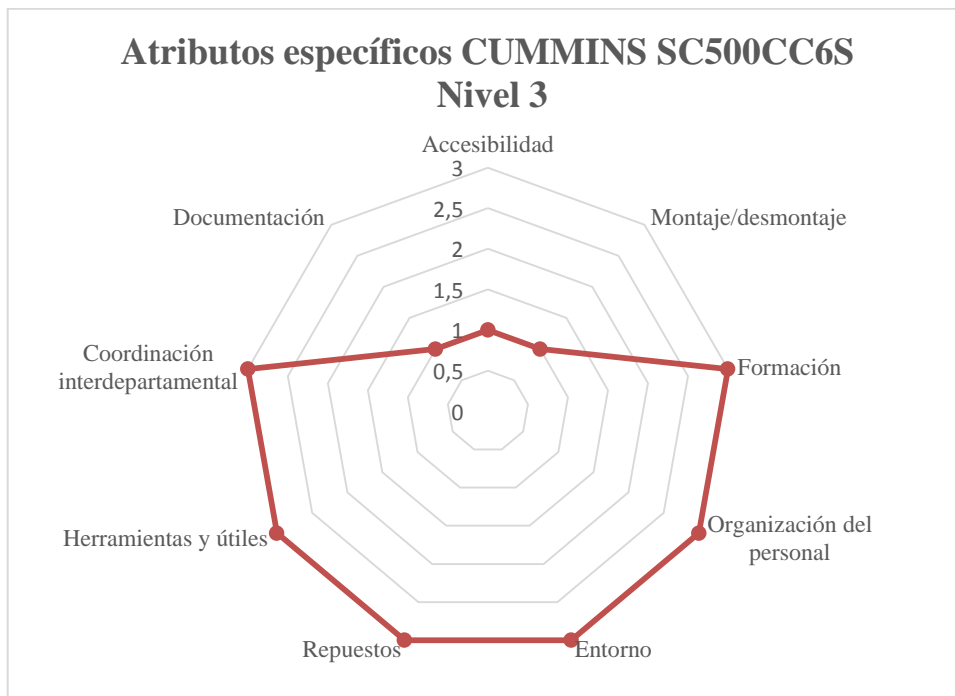


Figura 58-4 Atributos específicos N3 Cummins CS500C

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Fuente: AENOR UNE 151001,2011

NIVEL 4

Tabla 60-4 Atributos específicos N4 Cummins CS500C

Generador Cummins SC500CC6S					
Atributos específicos Nivel 4		Evaluación del atributo	Importancia para la mantenibilidad	Cálculo del peso	Peso del atributo
		Vi (0a 4)	PVi (0a4)	$PVi / \sum PVi$	$Vi \times (PVi / \sum PVi)$
V1	Accesibilidad	2	3	0,13	0,25
V2	Montaje/desmontaje	2	2	0,08	0,17
V3	Formación	3	3	0,13	0,38
V4	Organización del personal	2	2	0,08	0,17
V5	Entorno	2	2	0,08	0,17
V6	Repuestos	2	4	0,17	0,33
V7	Herramientas y útiles	3	3	0,13	0,38
V8	Coordinación interdepartamental	1	2	0,08	0,08
V9	Documentación	1	3	0,13	0,13
Total			24	1	
Indicador de mantenibilidad específico					2,04

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015
Fuente: AENOR UNE 151001,2011

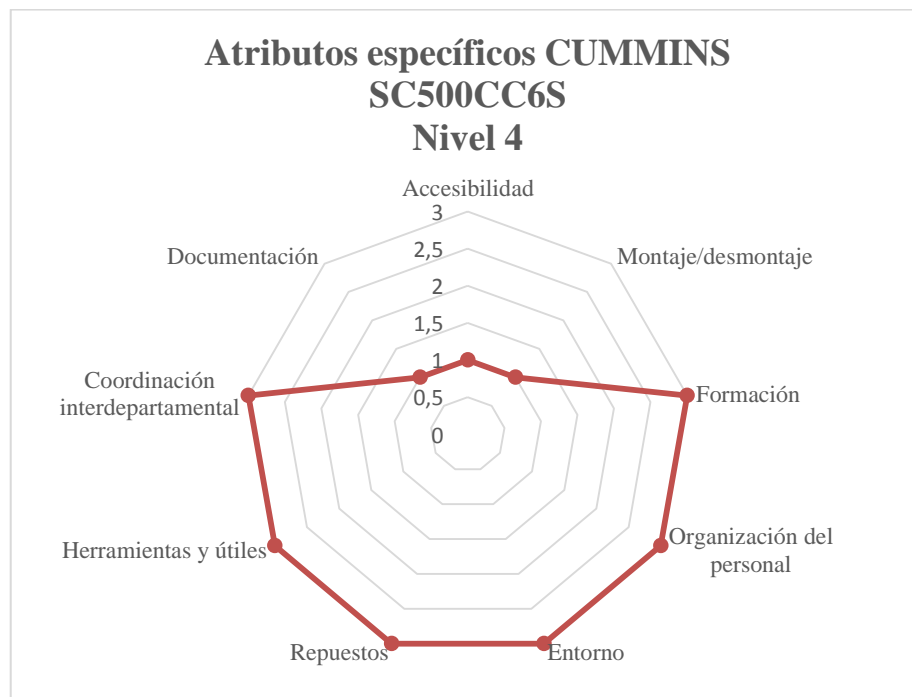


Figura 59-4 Atributos específicos N5 Cummins CS500C

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015
Fuente: AENOR UNE 151001,2011

NIVEL 5

Tabla 61-4 Atributos específicos N5 Cummins CS500C

Generador Cummins SC500CC6S					
Atributos específicos Nivel 5		Evaluación del atributo	Importancia para la mantenibilidad	Cálculo del peso	Peso del atributo
		Vi (0a 4)	PVi (0a4)	$PVi / \sum PVi$	$Vi \times (PVi / \sum PG)$
V1	Accesibilidad	2	3	0,13	0,25
V2	Montaje/desmontaje	3	2	0,08	0,25
V3	Formación	2	3	0,13	0,25
V4	Organización del personal	2	2	0,08	0,17
V5	Entorno	3	2	0,08	0,25
V6	Repuestos	2	4	0,17	0,33
V7	Herramientas y útiles	2	3	0,13	0,25
V8	Coordinación interdepartamental	1	2	0,08	0,08
V9	Documentación	1	3	0,13	0,13
Total			24	1	
Indicador de mantenibilidad específico					1,96

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015
Fuente: AENOR UNE 151001,2011

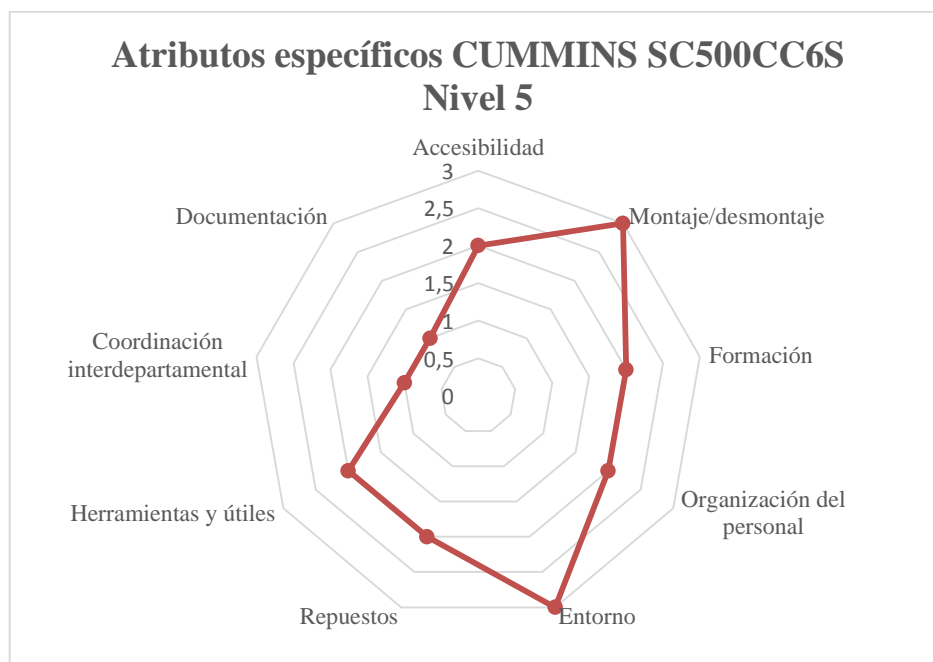


Figura 60-4 Atributos específicos N1 Cummins CS500C

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015
Fuente: AENOR UNE 151001,2011

Motores Mtu P410

NIVEL 1

Tabla 62-4 Atributos específicos N1 MTU P410

Generador Mtu P410					
Atributos específicos Nivel 1		Evaluación del atributo	Importancia para la mantenibilidad	Cálculo del peso	Peso del atributo
		Vi (0a 4)	PVi (0a4)	$PVi / \sum PVi$	$Vi \times (PVi / \sum PG)$
V1	Accesibilidad	4	3	0,13	0,50
V2	Montaje/desmontaje	2	2	0,08	0,17
V3	Formación	3	3	0,13	0,38
V4	Organización del personal	4	2	0,08	0,33
V5	Entorno	4	2	0,08	0,33
V6	Repuestos	4	4	0,17	0,67
V7	Herramientas y útiles	4	3	0,13	0,50
V8	Coordinación interdepartamental	4	2	0,08	0,33
V9	Documentación	3	3	0,13	0,38
Total			24	1	
Indicador de mantenibilidad específico					3,58

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Fuente: AENOR UNE 151001,2011

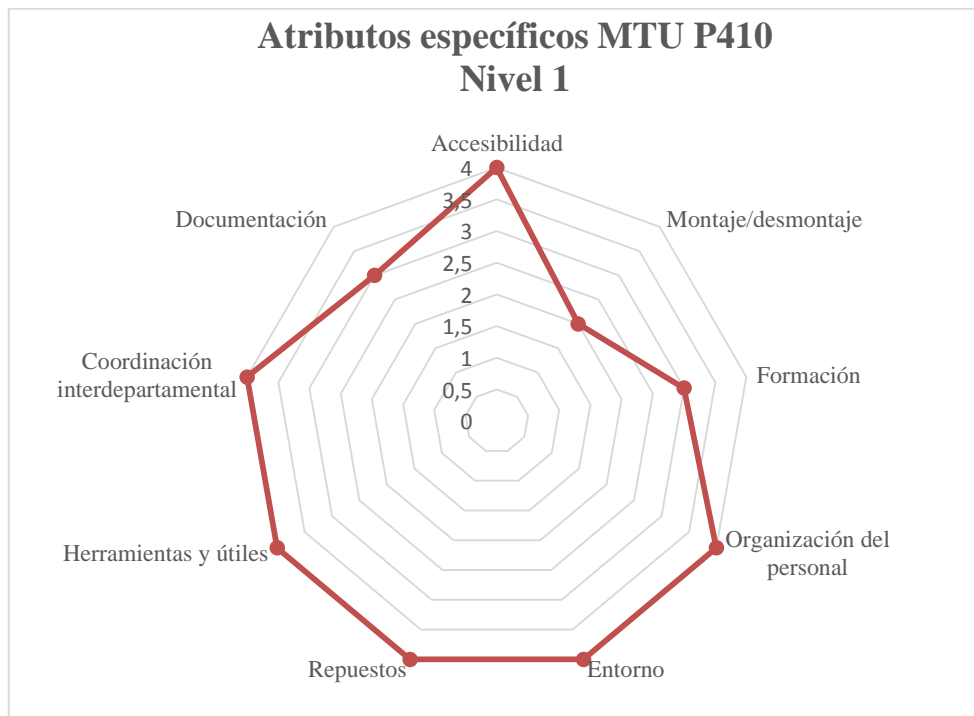


Figura 61-4 Atributos específicos N1 MTU P410

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Fuente: AENOR UNE 151001,2011

NIVEL 2

Tabla 63-4 Atributos específicos N2 MTU P410

Generador Mtu P410					
Atributos específicos Nivel 2		Evaluación del atributo	Importancia para la mantenibilidad	Cálculo del peso	Peso del atributo
		Vi (0a 4)	PVi (0a4)	$PVi / \sum PVi$	$Vi \times (PVi / \sum PG)$
V1	Accesibilidad	2	3	0,13	0,25
V2	Montaje/desmontaje	3	2	0,08	0,25
V3	Formación	3	3	0,13	0,38
V4	Organización del personal	2	2	0,08	0,17
V5	Entorno	3	2	0,08	0,25
V6	Repuestos	3	4	0,17	0,50
V7	Herramientas y útiles	3	3	0,13	0,38
V8	Coordinación interdepartamental	3	2	0,08	0,25
V9	Documentación	3	3	0,13	0,38
Total			24	1	
Indicador de mantenibilidad específico					2,79

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015
Fuente: AENOR UNE 151001,2011

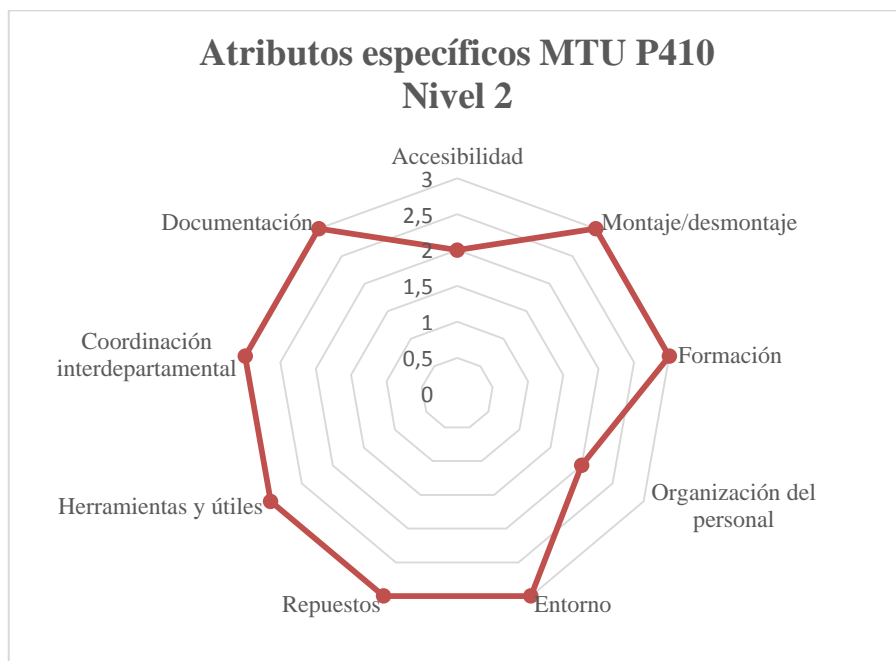


Figura 62-4 Atributos específicos N2 MTU P410

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015
Fuente: AENOR UNE 151001,2011

NIVEL 3

Tabla 64-4 Atributos específicos N3 MTU P410

Generador Mtu P410					
Atributos específicos Nivel 3		Evaluación del atributo	Importancia para la mantenibilidad	Cálculo del peso	Peso del atributo
		Vi (0a 4)	PVi (0a4)	$PVi / \sum PVi$	$Vi \times (PVi / \sum PG)$
V1	Accesibilidad	2	3	0,13	0,25
V2	Montaje/desmontaje	2	2	0,08	0,17
V3	Formación	2	3	0,13	0,25
V4	Organización del personal	3	2	0,08	0,25
V5	Entorno	3	2	0,08	0,25
V6	Repuestos	3	4	0,17	0,50
V7	Herramientas y útiles	3	3	0,13	0,38
V8	Coordinación interdepartamental	3	2	0,08	0,25
V9	Documentación	1	3	0,13	0,13
Total			24	1,00	
Indicador de mantenibilidad específico					2,42

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Fuente: AENOR UNE 151001,2011

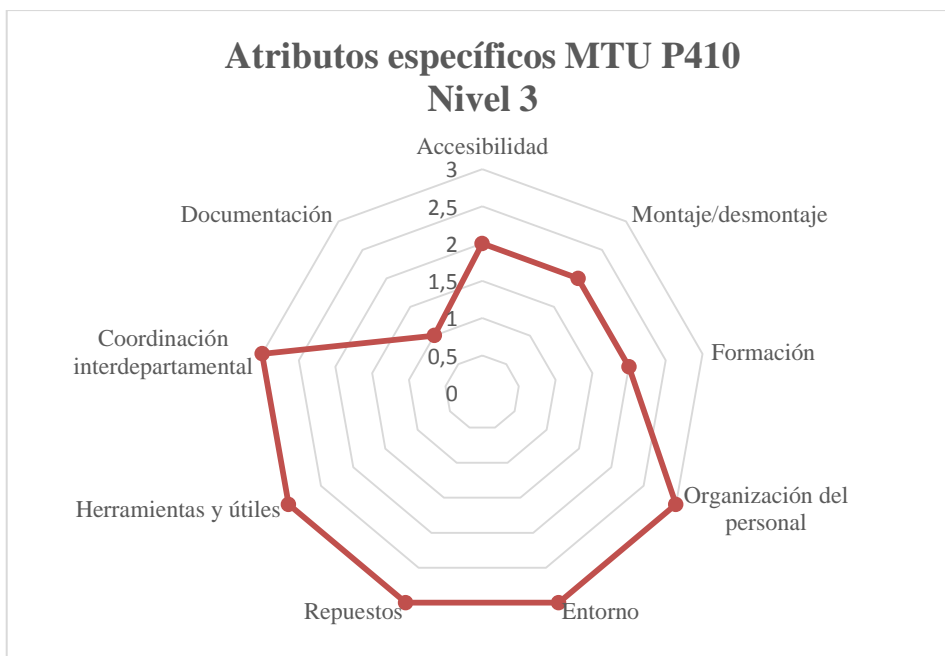


Figura 63-4 Atributos específicos N3 MTU P410

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Fuente: AENOR UNE 151001,2011

NIVEL 4

Tabla 65-4 Atributos específicos N4 MTU P410

Generador Mtu P410					
Atributos específicos Nivel 4		Evaluación del atributo	Importancia para la mantenibilidad	Cálculo del peso	Peso del atributo
		Vi (0a 4)	PVi (0a4)	$PVi / \sum PVi$	$Vi \times (PVi / \sum PG)$
V1	Accesibilidad	2	3	0,13	0,25
V2	Montaje/desmontaje	2	2	0,08	0,17
V3	Formación	2	3	0,13	0,25
V4	Organización del personal	2	2	0,08	0,17
V5	Entorno	2	2	0,08	0,17
V6	Repuestos	2	4	0,17	0,33
V7	Herramientas y útiles	3	3	0,13	0,38
V8	Coordinación interdepartamental	1	2	0,08	0,08
V9	Documentación	1	3	0,13	0,13
Total			24	1	
Indicador de mantenibilidad específico					1,92

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Fuente: AENOR UNE 151001,2011

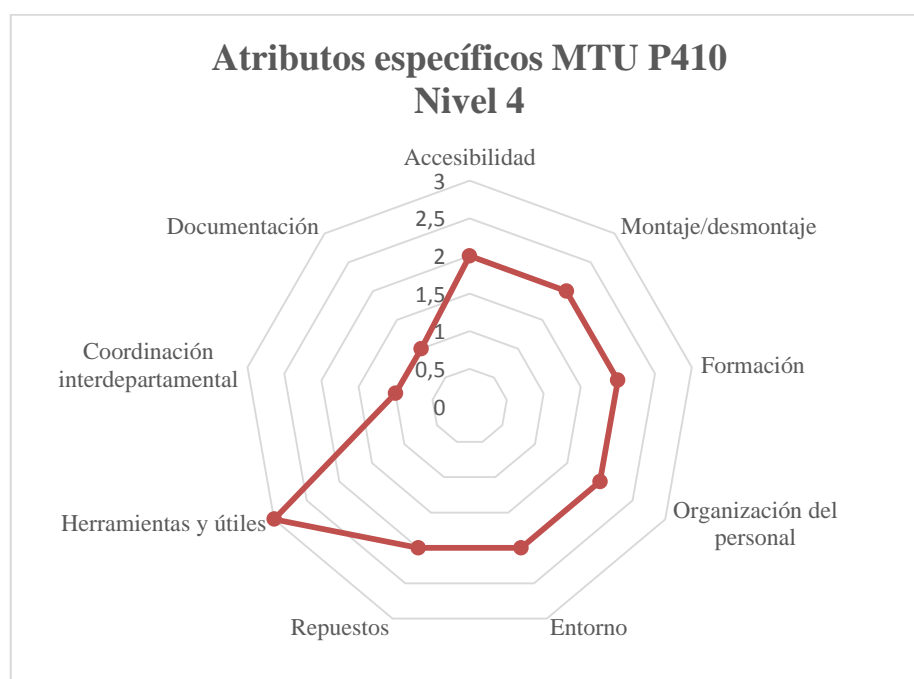


Figura 64-4 Atributos específicos N4 MTU P410

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Fuente: AENOR UNE 151001,2011

NIVEL 5

Tabla 66-4 Atributos específicos N5 MTU P410

Atributos específicos Nivel 5		Evaluación del atributo	Importancia para la mantenibilidad	Cálculo del peso	Peso del atributo
		Vi (0a 4)	PVi (0a4)	$PVi / \sum PVi$	$Vi \times (PVi / \sum PG)$
V1	Accesibilidad	2	3	0,13	0,25
V2	Montaje/desmontaje	2	2	0,08	0,17
V3	Formación	1	3	0,13	0,13
V4	Organización del personal	2	2	0,08	0,17
V5	Entorno	3	2	0,08	0,25
V6	Repuestos	3	4	0,17	0,50
V7	Herramientas y útiles	1	3	0,13	0,13
V8	Coordinación interdepartamental	1	2	0,08	0,08
V9	Documentación	1	3	0,13	0,13
Total			24	1	
Indicador de mantenibilidad específico					1,79

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015
Fuente: AENOR UNE 151001,2011

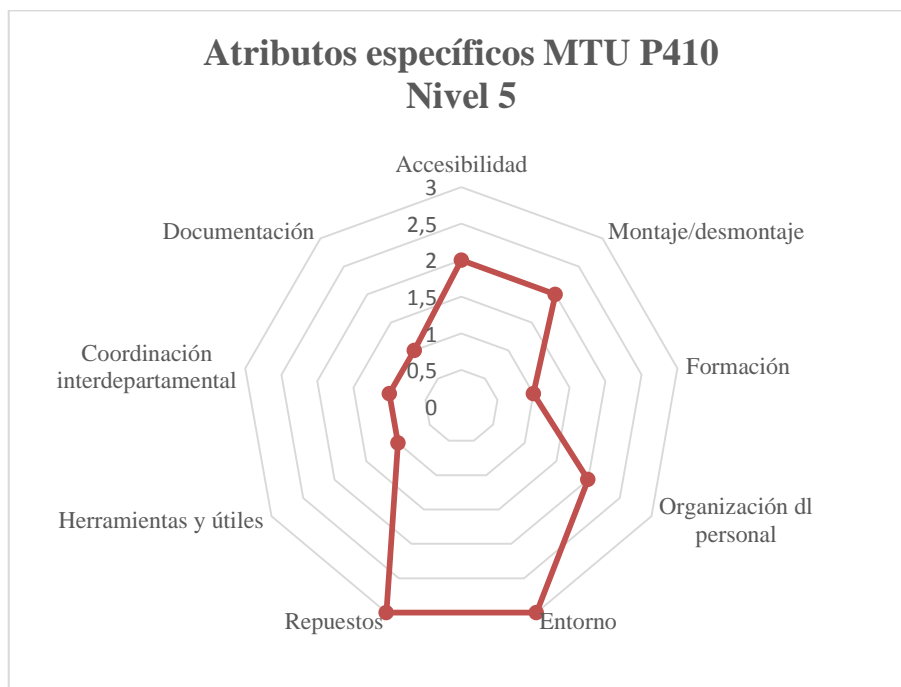


Figura 65-4 Atributos específicos N1 MTU P410

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015
Fuente: AENOR UNE 151001,2011

4.2.4 Resumen atributos específicos de la mantenibilidad

Un resumen de los indicadores de mantenibilidad por nivel de mantenimiento de los equipos analizados se muestra en la tabla 67-4.

Tabla 67-4 Indicadores específicos de mantenibilidad

	Caterpillar	Cummins	Mtu
NIVEL 1	3,67	3,71	3,58
NIVEL 2	3,08	3,21	2,79
NIVEL 3	2,54	2,33	2,42
NIVEL 4	2,04	2,04	1,92
NIVEL 5	2,17	1,96	1,79

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Fuente: AENOR UNE 151001,2011

De los resultados obtenidos, la primera observación es que las calificaciones son más altas en el nivel 1 de mantenimiento y van decreciendo las calificaciones para niveles de mantenimiento más altos. Esto da a entender que se está preparado más adecuadamente para los mantenimientos más básicos y hay que trabajar en la mejora de los niveles de mantenimiento más especializados.

Los atributos Accesibilidad y Montaje y Desmontaje están relacionados directamente al diseño de la máquina (Características intrínsecas), para mejorar estos atributos es necesario realizar modificaciones del diseño. Los atributos de Formación y Entorno dependen del desarrollo del personal de mantenimiento y de las condiciones de operación donde trabaja el equipo, que son atributos susceptibles a ser mejorados. Los atributos Organización de personal, Repuestos, Herramientas y Útiles, Coordinación Interdepartamental y Documentación, están relacionados con el apoyo logístico, que con estrategias, organización, inversiones pueden mejorarse.

En las evaluaciones de los atributos de los niveles de mantenimiento 1 y 2 hay una buena performance del equipo Cummins, en los niveles 3, 4 y 5 hay una ligera ventaja para los equipos Caterpillar. La evaluación del equipo MTU es la más baja en casi todos los niveles pero la diferencia con los otros equipos no es muy significativa. Se deduce que para mejorar los indicadores, la estrategia debe estar direccionada al mejoramiento de procedimientos y políticas de toda la empresa que en problemas específicos de los equipos.

En la tabla 66-4 se representa gráficamente el comportamiento de los indicadores específicos de la mantenibilidad en los equipos analizados.

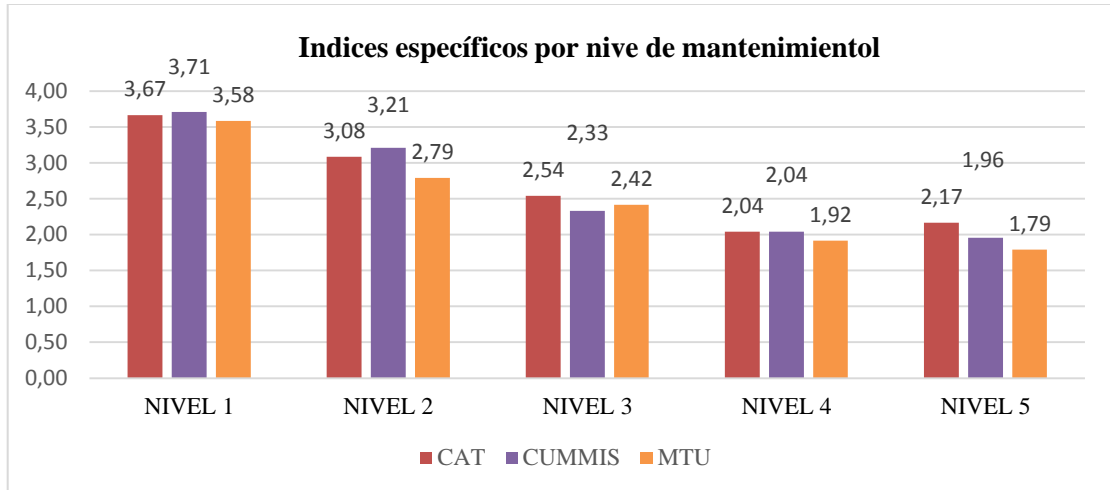


Figura 66-4 Resumen de indicadores de atributos específicos

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Fuente: AENOR UNE 151001,2011

En las siguientes figuras se resumen los atributos específicos para cada nivel de mantenimiento para poder realizar comparaciones entre los equipos analizados.

En el nivel 1 de mantenimiento la estrategia debe direccionarse a mejorar la documentación técnica.

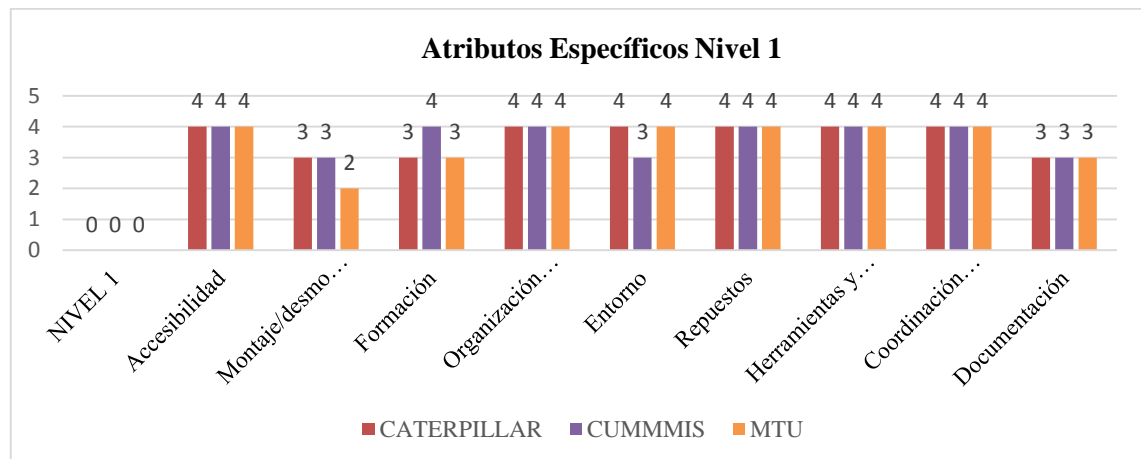


Figura 67-4 Atributos específicos N1 por marca

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015

Fuente: AENOR UNE 151001,2011

En el nivel 2 la mejora puede ser planteada a cualquiera de los atributos pues el comportamiento de los valores es más estable.

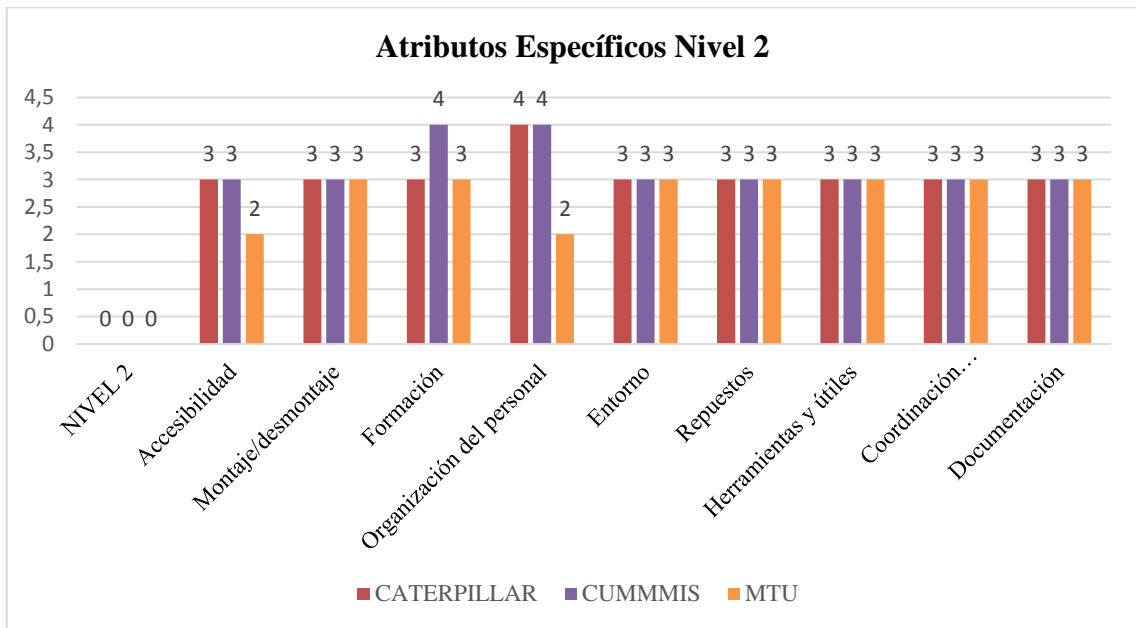


Figura 68-4 Atributos específicos N2 por marca

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015
Fuente: AENOR UNE 151001,2011

En el nivel N3 las estrategias deben direccionarse a la formación, herramientas y documentación.

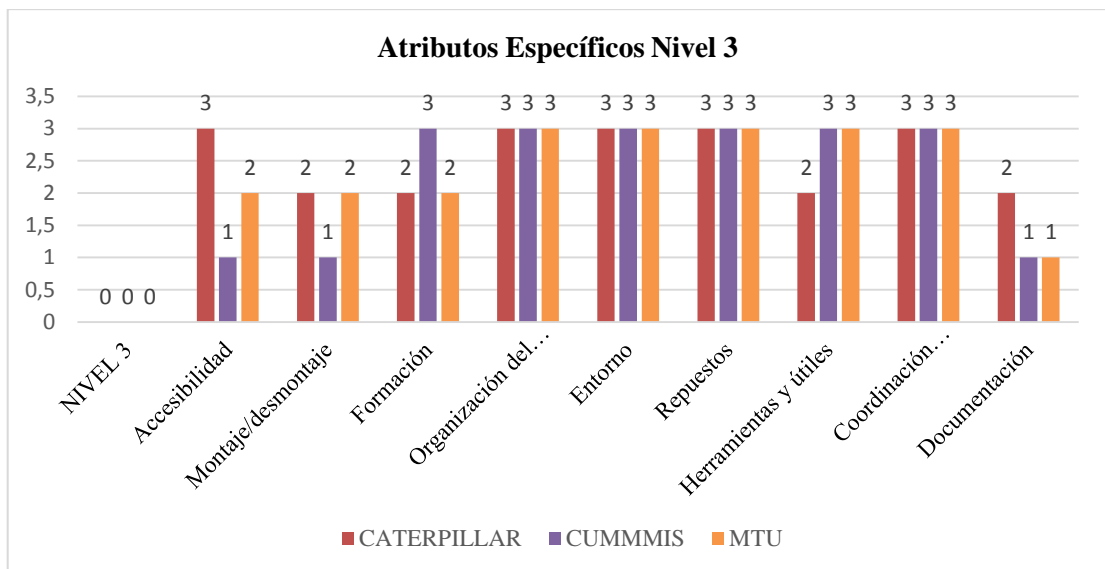


Figura 69-4 Atributos específicos N3 por marca

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015
Fuente: AENOR UNE 151001,2011

En el nivel de mantenimiento 4 las estrategias deben direccionarse a la formación, organización del personal, entorno, repuestos, herramientas, coordinación interdepartamental, y documentación.

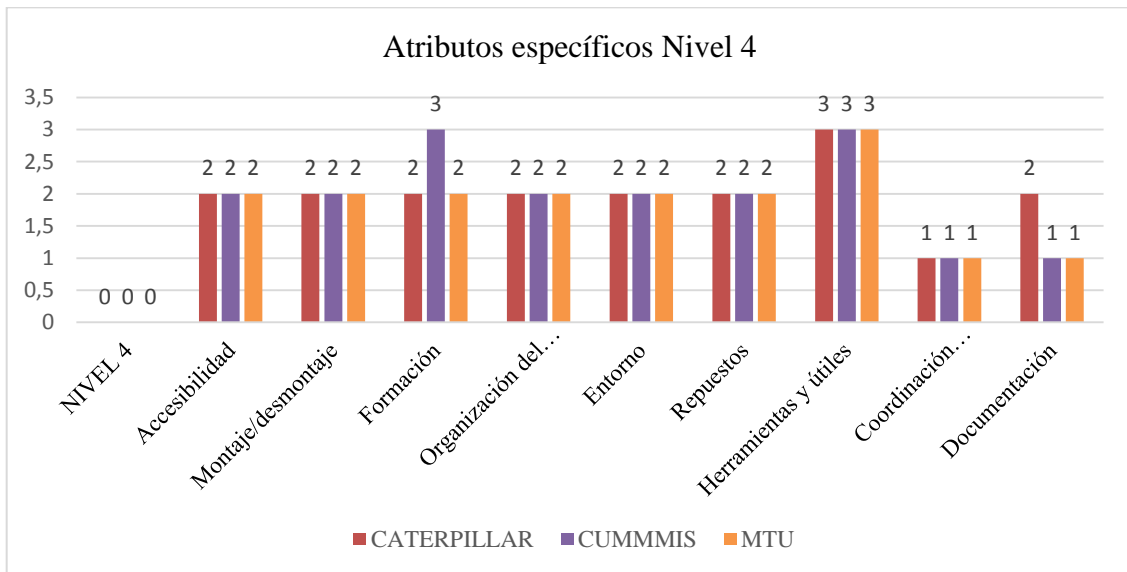


Figura 70-4 Atributos específicos N4 por marca

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015
Fuente: AENOR UNE 151001,2011

Para el Nivel 5 las estrategias deben direccionarse a la formación, organización del personal, herramientas, coordinación interdepartamental y documentación

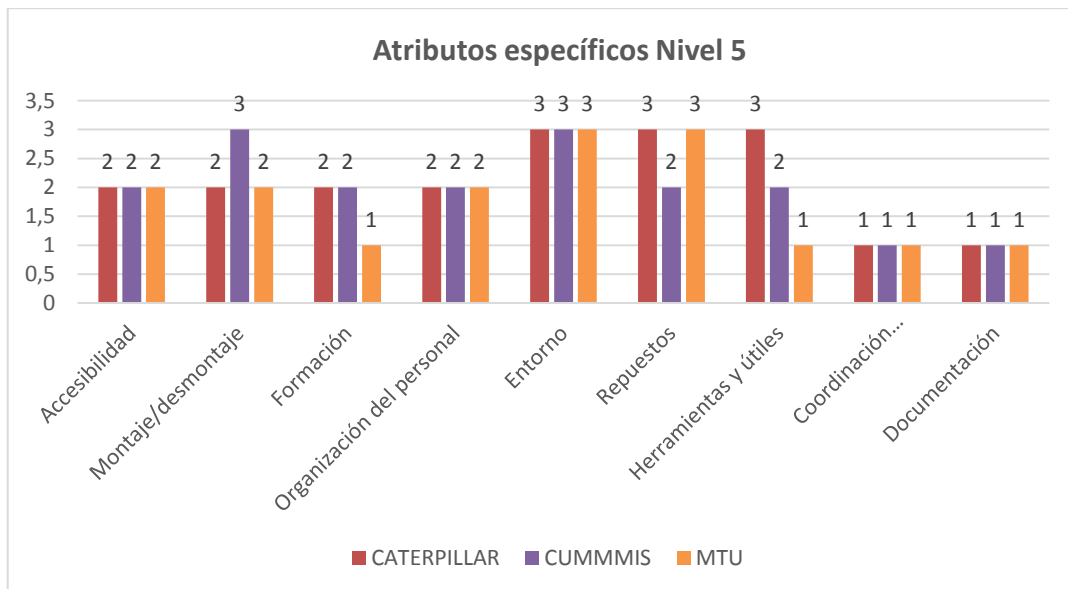


Figura 71-4 Atributos específicos N5 por marca

Elaborado por: GALLEGOS, César, 2015
Fuente: AENOR UNE 151001,2011

4.4.3 Comprobación de la hipótesis

Para la comprobación de la hipótesis se utilizará la función t de Student para una muestra, proceso basado en la evidencia muestral.

En un trabajo de investigación se plantean dos tipos hipótesis mutuamente excluyentes, la hipótesis nula y la hipótesis alternativa. En el análisis estadístico se pretende comprobar la aceptación o negación de la hipótesis nula, si la hipótesis nula es negada se da paso para aceptar la hipótesis alternativa que debe coincidir con la hipótesis planteada por el investigador.

El mejoramiento de la mantenibilidad implica bajar los tiempos de reparación y al bajar los tiempos de reparación baja también el MTTR (tiempo medio para reparar), por consiguiente mejorar de la disponibilidad de los equipos (ver ecuación 3-2).

4.3.1 Planteamiento de la hipótesis nula y alternativa

Existen tres situaciones para el planteamiento de la hipótesis nula y alternativa.

1	2	3
Ho: $\bar{X} = \mu$	Ho: $\bar{X} \leq \mu$	Ho: $\bar{X} \geq \mu$
H1: $\bar{X} \neq \mu$	H1: $\bar{X} > \mu$	H1: $\bar{X} < \mu$

Figura 72-4 Opciones para plantear la hipótesis nula y alternativa.
Fuente: QUIJANO, 2013

Se pretende demostrar que el tiempo medio de reparación debe bajar, por lo tanto se escoge el caso 2, donde la hipótesis nula será que los nuevos MTTR representados por μ serán mayores a la media de estudios \bar{X} .

Hipótesis nula: Ho: $\bar{X} \leq \mu$

Hipótesis alternativa: H: $\bar{X} \geq \mu$

4.3.2 Elegir el nivel de significación

Representa la cantidad de error que el investigador va a tolerar para dar paso a la demostración de la hipótesis en este caso será de 5% o 0,05.

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

4.3.2 Determinación de la zona de aceptación.

La zona de aceptación viene definida por la hipótesis alternativa y representa el área de la curva donde los valores definen el rechazo de la hipótesis nula.

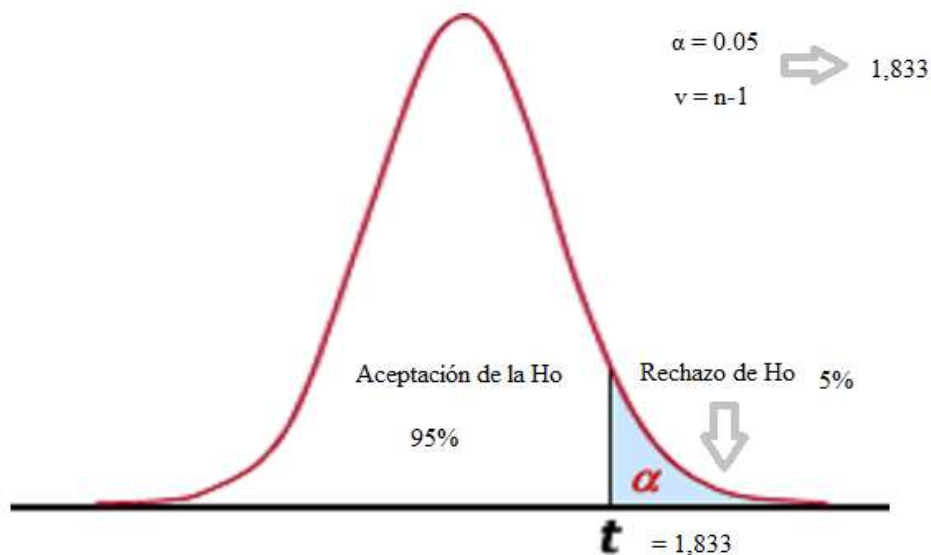


Figura 73-4 Función t, zonas de aceptación y rechazo
Fuente: QUIJANO, 2013

Con el valor del nivel de significancia (0,05) y los grados de libertad (tamaño de la muestra menos uno) acudimos a las tablas de los puntos de porcentaje de la distribución t de Student (Anexo C).

Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$
Tamaño de la muestra	$n = 10$
Grados de libertad	$v = n-1$
De tablas el valor t es de:	1,833

4.3.4 Cálculo de la función Pivotal

La función pivotal (función t) viene definido por la siguiente función:

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{S/\sqrt{n}} \quad \text{Ecuación 1-4}$$

Ecuación utilizada cuando la muestras es menores a 30 datos y desviación estándar de la población es desconocida.

Dónde:

- \bar{X} Media de la muestra
- μ Población o dato a Comparar
- S Desviación estándar de la población o de la muestra
- n Tamaño de la muestra.

La muestra de los tiempos de reparación es:

MTTR	2,87	19,41	9,84	14,14	12,73	8,03	8,06	10,81	19,59	11,74
------	------	-------	------	-------	-------	------	------	-------	-------	-------

$$\bar{X} = \Sigma \text{MTTR}/n = 11,71$$

$$\mu = 5,6 \text{ valor de comparación (MTTR mes enero del 2016)}$$

$$S = 5,1$$

$$n = 10$$

Reemplazando datos:

$$t = \frac{11,71 - 5,6}{5,1/\sqrt{10}} = 3,78$$

Como el valor t calculado es mayor al valor t de tablas cae en la zona de rechazo de la hipótesis nula por tanto se acepta la hipótesis alternativa

CONCLUSIONES

En todo componente mantenible es posible calcular los indicadores de mantenibilidad. La mantenibilidad probabilística está relacionada directamente con las actividades correctivas, por lo que debe calcularse en los ítems que son reparables después de la ocurrencia de un fallo. Para el cálculo adecuado de este parámetro es necesario que la toma de datos de los tiempos de reparación sea real y no estimados.

Los cálculos de los atributos de la mantenibilidad (propuestos por la norma UNE 151001) están relacionada con la facilidad de realizar mantenimiento en un ítem, éste involucra tanto las actividades correctivas como preventivas y facilidades relacionadas con el soporte logístico, para la evaluación de estos atributos es indispensable un conocimiento especializado de los activos físicos, las evaluaciones deben realizarse por personal técnico calificado.

Cuando se pretende calcular el parámetro probabilístico de la mantenibilidad surgen varias dudas:

- En qué período de tiempo se debe analizar.
- El cálculo se lo hace por equipo, por tipo de equipos, por marca, por áreas, o considerar a todos los equipos.
- Con que valor se debe comparar los parámetros calculados para evaluarlos.

Para el análisis probabilístico de la mantenibilidad se dispuso con un historial de los tiempos de reparación de 91 equipos, durante 10 meses del 01/01/2015 al 31/10/2015. El primer estudio fue llamado cálculo de la mantenibilidad general, considera a todo el universo de equipos, el índice se calculó mensualmente y los resultados se tomaron como punto de partida con el cual comparar el comportamiento de los indicadores futuros, este estudio inicial determinó un punto de comparación de los parámetros a evaluarse.

El segundo estudio de la mantenibilidad probabilística sirvió para realizar comparaciones del comportamiento de los parámetros por marca de equipo, los resultados del cálculo probabilístico de la mantenibilidad fueron analizados para 4 tiempos diferentes (2h, 10h, 20h y 40h). Los equipos con mayores probabilidades de reparación son los Caterpillar, seguidos por los Cummins, y al final los MTU.

El tercer estudio de la mantenibilidad probabilística se analizó por tipo de falla, su objetivo fue determinar qué tipo de falla es la más problemática, los equipos que tienen mayor cantidad de fallas mecánicas y los tiempos acumulados de reparación también son los más altos. En el análisis las probabilidades de reparación para fallas mecánicas y eléctricas presentan valores muy cercanos, tienen prácticamente las mismas probabilidades de reparación. Las fallas de tipo electrónico presentan una mayor probabilidad de reparación.

El MTTR a igual que la mantenibilidad probabilística fue calculada de forma general, por marca y por tipo de falla, en los tres tipos de cálculo los valores obtenidos fueron uniformes, 11h para el MTTR y 0,09 reparaciones/h para la tasa de reparación. Estos datos servirán para comparar con los nuevos registros, serán el punto de partida para un mejoramiento continuo.

El diseño robusto y materiales de buena calidad, son características de los equipos con alta fiabilidad, equipos de estas características son más costosos. Cuando no se cuentan con equipos muy fiables, la opción para aumentar la disponibilidad es mejorar la mantenibilidad. Debe quedar en claro que la mejora en la mantenibilidad no aumenta la fiabilidad de los equipos, aumenta la disponibilidad, se puede decir que una mejora en la mantenibilidad mantiene la fiabilidad preconcebida en el diseño.

La complejidad en el diseño de los equipos, ocasiona que los tiempos de localización y diagnóstico de las fallas aumenten. Pero también es cierto que equipos con alta tecnología poseen módulos que ayudan a monitorear el equipo y como diagnosticar algunos tipos de fallas más rápidamente.

El cálculo de los atributos de la mantenibilidad es una herramienta fundamental para cotejar un activo frente a otro, sirve también para analizar los cambios de la mantenibilidad cuando los activos cambian de ubicación o contexto operacional, El cálculo de los atributos se puede aplicar a cualquier tipo de activo industrial y en cualquier etapa del ciclo de vida del activo.

Entre los atributos de la mantenibilidad podemos encontrar atributos relacionados con el diseño del dispositivo, otros atributos relacionados con el grado de preparación del personal y atributos que evalúan el soporte logístico. Es importante aclarar que los atributos miden las aptitudes de los activos para ser mantenidos, no miden las aptitudes de la empresa u organización. Los atributos generales aplican para todos los niveles de mantenimiento (Simplicidad, Identificación, Modularización, Tribología, Ergonomía, Estandarización, Vigilancia y relaciones con el fabricante). Los atributos específicos se los evalúa para cada nivel de mantenimiento (Accesibilidad, Montaje y desmontaje, Formación, Organización del personal, Entorno, repuestos, herramientas, Coordinación interdepartamental y Documentación),

RECOMENDACIONES

Sin los tiempos para reparar registrados en el software de mantenimiento sería imposible realizar este estudio, Un análisis minucioso de los tiempos de reparación, donde se mida los lapsos de tiempo para: localizar y diagnosticar el defecto, para desmontar o remover la pieza defectuosa, para conseguir la refacción, para la sustitución y montaje y tiempos para las pruebas y puesta en marcha. Estos datos proporcionarían información muy valiosa para plantear nuevas estrategias.

Mejorar la identificación de los elementos a ser mantenidos con la utilización de placas y folletos con información técnica de los equipos, La mayoría de equipos cuenta con paneles donde se puede monitorear los parámetros de funcionamiento de los motores, se debe colocar los valores críticos de dichos parámetros en lugares visibles. Además se debe tener en cuenta que estén identificados los terminales y conectores, los lugares peligrosos, los sitios donde hay que ubicarse para realizar los trabajos sin riesgos.

A pesar de haberse realizado estudios de compatibilidad de componentes. Se debe seguir analizando periódicamente nuevas opciones. Siempre es recomendable estandarizar componentes porque esto ayuda a bajar existencias en bodega y disminuir costos de inversión en repuestos.

Mejorar la organización de toda la información técnica de los equipos. La información debería ingresarse en el software de mantenimiento y así esté disponible para todo el personal de mantenimiento.

Mejorar la relación entre los fabricantes, proveedores de servicios de mantenimiento, proveedores de repuestos con el personal de mantenimiento de la empresa.

Las medidas de cálculos probabilísticos de la mantenibilidad y el MTTR se los debe hacer cada mes. Los cálculos de los atributos deben realizarse cada seis meses o cuando se requiera evaluar nuevas medidas tomadas.

BIBLIOGRAFÍA

1. AENOR EN 13306. (2011). Norma UNE-EN 13306. Terminología de Mantenimiento, Madrid, España: AENOR.
2. AENOR UNE 151001. (2011). Norma UNE 151001 . Mantenimiento Indicadores de mantenibilidad de dispositivos industriales (Definición y Evaluación). Madrid, España: AENOR.
3. AENOR UNE-EN 13306. (2011). Norma UNE-EN 13306. Terminología de mantenimiento. Madrid, España: AENOR.
4. AENOR UNE-IEC 60300-3-10. (Marzo de 2007). Norma UNE-IEC 60300-3-10. Gestión de la Confiabilidad parte 3-10 Guía aplicación Mantenibilidad, 35. Madrid, España: AENOR.
5. CABAU, E. (1996). Introducción a la concepción de la garantía de funcionamiento. Barcelona, España: Schneider Electric.
6. EBELING, C. (2005). An Introduction to Reability and Maintainability Engineering. New York, Estados Unidos de América: ISBN.
7. EN 16646. (Diciembre de 2014). Norma Mantenimiento dentro de la gestión de activos físicos. Maintenance - Maintenance within physical asset mangement. Bruselas, Bélgica: Comité Europeo de Normalización.
8. HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C., & BATISTA, P. (2004). Metodología de la Investigación (Tercera Edición ed.). México DC, México: McGraw-Hill.
9. KARDEK, A., & NASCIF, J. (2002). Mantenimiento, Funciión. Rio de janeiro, Brasil: CIP.

10. KENEZEVIC, J. (1996). Mantenibilidad. Madrid, España: ISDEFE.
11. KENEZEVIC, J. (1996). Mantenimiento. Madrid, España: ISDEFE.
12. MESA, D. H., ORTIZ, Y., & PINZÓN, M. (2006). La Confiabilidad, la Disponibilidad y la Mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento. Scientia y technica. Pereira, Colombia:UTP.
13. MORA, A. (2005). Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicio. Medellín, Colombia: Ultragráficas.
14. QUIJANO, Y. (2013). Prueba de hipótesis para la media. [Consulta: 12 de enero 2016]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=AJcy4eZMwWM>
15. SEXTO, L. (2015). Módulo Ingeniería de la Fiabilidad. Riobamba, Ecuador: ESPOCH.
16. TAMBORERO, J. M. (1994). NTP 331. Fiabilidad: la distribución de Weibull, Madrid, España: INSHT.
17. TORRES, L. D. (2005). Mantenimiento su implementación y gestión. Buenos Aires, Argentina: Universitas.
18. ZABALA, W. (2004). Fiabilidad de Máquinas. Riobamba, Ecuador: Espoch.

ANEXO A (INDICADORES DE MANTENIBILIDAD).

Evaluación de atributos generales de la mantenibilidad (AENOR UNE 151001, 2011).

HOJA DE EVALUACIÓN DE ATRIBUTOS GENERALES				
Código	Atributo	Criterio	Escala de 0 a 4	Valor
G1	Simplicidad	Se comprobará la utilización de un número mínimo de componentes y de conjuntos en los dispositivos, incluso en aquellos componentes que sean redundantes.	0: Alta cantidad de componentes con redundancia. 4: Cantidad óptima de componentes y sin ninguna redundancia	
G2	Identificación	Se comprobará la identificación de los elementos a ser mantenidos, los lugares de realización de pruebas o de ensayos. También se observará que estén identificados los conectores, las zonas peligrosas, los lugares donde hay que posicionarse para trabajar, etc.	0: Sin identificación. 4: Perfecta identificación de equipos. Se ve todo al colocarse frente al dispositivo	
G3	Modularización	Se comprobará si en el dispositivo existen distintas unidades de montaje funcionales, que permitan minimizar las partes del mismo a ser manipuladas en caso de intervenciones de mantenimiento.	0: Cambio de unidades complejo y requiere mover otras unidades. 4: Excelente modularización.	
G4	Tribología	Se comprobará la correcta elección de materiales del dispositivo que están sometidos a fricciones, lubricación y desgaste, con el objeto de facilitar el mantenimiento del dispositivo	0: 0-10% de los ítems seleccionados adecuadamente. 4: 80-100% de los ítems seleccionados adecuadamente.	
G5	Ergonomía	Se comprobará la facilidad para el desarrollo de las tareas de mantenimiento, analizando el peso, tamaño y forma de los componentes a manipular. Se revisarán igualmente los espacios destinados a la realización de las tareas, comprobándose su adecuación a las mismas en cuanto a iluminación, volumen, etc. para facilitar los cambios	0: Tareas de mantenimiento muy dificultosas para su desarrollo. Peso, tamaño y forma de los elementos a manipular muy incómodos. Poco espacio de trabajo 4: Excelente ergonomía del dispositivo, casi todo el mantenimiento se hace de manera muy cómoda y ágil	
G6	Estandarización	Se comprobará la compatibilidad de los componentes a sustituir con otros que pueden encontrarse en el mercado. Esto redundará en almacenamiento mínimo de componentes y número mínimo de ajustes, especialmente en elementos a sustituir en los niveles bajos de mantenimiento.	0: Estandarización pobre. Alta dificultad para encontrar repuestos en el mercado. Alta necesidad de almacenamiento de recambios. 4: Buena estandarización. Gran facilidad para encontrar piezas de recambio en el mercado, a precios competitivos, ninguna necesidad de almacenamiento de piezas en el mercado.	
G7	Vigilancia	Se comprobará la existencia de indicadores de fallo del dispositivo y la posibilidad de monitorización de parámetros útiles el mantenimiento	0: Mala vigilancia. No hay indicadores de la condición del equipo y es imposible hacer diagnóstico en su condición. 4: Buena vigilancia. Hay indicadores necesarios para conocer el estado del dispositivo y son fácilmente monitorizados en el dispositivo.	
G8	Relación con fabricante	Se comprobará la facilidad de coordinación entre el fabricante y las personas que se ocupan del mantenimiento de la planta.	0: Pobre coordinación. Lejanía entre el técnico y el fabricante, habla otro idioma, etc. 4: Buena coordinación. Cercanía entre el técnico y el fabricante, habla el mismo idioma, no hay problemas de comunicación, usa tecnologías estándar, etc.	

(AENOR UNE 151001, 2011)

Evaluación de atributos específicos de la mantenibilidad relacionados con los niveles de mantenimiento (AENOR UNE 151001, 2011).

a) Accesibilidad (V1)

<i>Nivel</i>	<i>La observación de este atributo tiene como objetivo:</i>	<i>Escala de evaluación:</i>
1	Comprobar el acceso adecuado para las tareas de nivel 1 de mantenimiento, por ejemplo: inspecciones básicas, cambios de consumibles (lubricantes...), etc.	En el intervalo [0 a 4], siendo: 0: Acceso muy difícil, hace falta mover cosas, desplazarse, etc. 4: Muy buen acceso
2	Comprobar el acceso adecuado para ejecutar las tareas de nivel 2 de mantenimiento, reparaciones simples por intercambios de elementos funcionales, etc.	
3	Comprobar el acceso adecuado para ejecutar las tareas de nivel 3 de mantenimiento, por ejemplo de diagnóstico y localización de las causas de fallos del dispositivo, o de intercambio o reparación de componentes menores.	
4	Comprobar el acceso adecuado para la realización de tareas de nivel 4 de mantenimiento, que involucran revisiones de importancia del dispositivo, realización de pruebas, etc.	
5	Comprobar el acceso adecuado para realizar las reconstrucciones, renovaciones o reparaciones importantes de nivel 5 de mantenimiento del dispositivo	

b) Montaje/ Desmontaje (V2)

<i>Nivel</i>	<i>La observación de este atributo tiene como objetivo:</i>	<i>Escala de evaluación:</i>
1	Comprobar la facilidad para el montaje y desmontaje (para abrir, cerrar, conectar, desconectar, ajustar, extraer, ensamblar etc.) de las partes de los subsistemas que intervienen en operaciones de nivel 1 de mantenimiento del dispositivo.	En el intervalo [0 a 4], siendo: 0: Muchas dificultades: Son necesarios muchos útiles y herramientas. Peso, tamaño y volumen de los materiales demasiado importantes. 4: Muy fácil de montar y desmontar.
2	Comprobar la facilidad para el montaje y desmontaje (para abrir, cerrar, conectar, desconectar, ajustar, extraer, ensamblar etc.) de las partes de los subsistemas que intervienen en operaciones de nivel 2 de mantenimiento del dispositivo.	
3	Comprobar la facilidad para el montaje y desmontaje (para abrir, cerrar, conectar, desconectar, ajustar, extraer, ensamblar etc.) de las partes de los subsistemas que intervienen en operaciones de nivel 3 de mantenimiento del dispositivo.	
4	Comprobar la facilidad para el montaje y desmontaje (para abrir, cerrar, conectar, desconectar, ajustar, extraer, ensamblar etc.) de las partes de los subsistemas que intervienen en operaciones de nivel 4 de mantenimiento del dispositivo.	
5	Comprobar la facilidad para el montaje y desmontaje (para abrir, cerrar, conectar, desconectar, ajustar, extraer, ensamblar etc.) de las partes de los subsistemas que intervienen en operaciones de nivel 5 de mantenimiento del dispositivo.	

c) Formación (V3)

<i>Nivel</i>	<i>La observación de este atributo tiene como objetivo:</i>	<i>Escala de evaluación:</i>
1	Comprobar los requisitos de formación para la realización de actividades de nivel 1 de mantenimiento.	En el intervalo [0 a 4], siendo: 0: Requisitos demasiado elevados para el nivel de mantenimiento a realizar. 4: Requisitos de formación, acordes con el nivel de mantenimiento.
2	Comprobar los requisitos de formación para la realización de actividades de nivel 2 de mantenimiento	
3	Comprobar los requisitos de formación para la realización de actividades de nivel 3 de mantenimiento	
4	Comprobar los requisitos de formación para la realización de actividades de nivel 4 de mantenimiento	
5	Comprobar los requisitos de formación para la realización de actividades de nivel 5 de mantenimiento	

d) Organización del personal (V4)

<i>Nivel</i>	<i>La observación de este atributo tiene como objetivo:</i>	<i>Escala de evaluación:</i>
1	Minimizar el número de personas y la coordinación necesaria para optimizar la tarea de nivel 1 de mantenimiento.	En el intervalo [0 a 4], siendo: 0: Hacen falta muchas personas para realizar las tareas de mantenimiento, más de cuatro o cinco personas. 4: Hace falta solo una persona, que tiene libertad para hacer la actividad de mantenimiento cuando lo considere oportuno.
2	Minimizar el número de personas y la coordinación necesaria para optimizar la tarea de nivel 2 de mantenimiento.	
3	Minimizar el número de personas y la coordinación necesaria para optimizar la tarea de nivel 3 de mantenimiento.	
4	Minimizar el número de personas y la coordinación necesaria para optimizar la tarea de nivel 4 de mantenimiento.	
5	Minimizar el número de personas y la coordinación necesaria para optimizar la tarea de nivel 5 de mantenimiento.	

e) Entorno (V5)

<i>Nivel</i>	<i>La observación de este atributo tiene como objetivo:</i>	<i>Escala de evaluación:</i>
1	Comprobar la existencia de un entorno seguro para las tareas de nivel 1 de mantenimiento	En el intervalo [0 a 4], siendo: 0: Entorno en que realiza la tarea de mantenimiento muy peligroso 4: Entorno muy seguro. existen protecciones, no hace falta acercarse a componentes peligrosos, aislamientos correcto, enclavamientos señalizados, etc.
2	Comprobar la existencia de un entorno seguro para las tareas de nivel 2 de mantenimiento	
3	Comprobar la existencia de un entorno seguro para las tareas de nivel 3 de mantenimiento	
4	Comprobar la existencia de un entorno seguro para las tareas de nivel 4 de mantenimiento	
5	Comprobar la existencia de un entorno seguro para las tareas de nivel 5 de mantenimiento	

f) Repuestos (V6)

<i>Nivel</i>	<i>La observación de este atributo tiene como objetivo:</i>	<i>Escala de evaluación:</i>
1	Comprobar requerimientos de almacenamiento y manipulación de repuesto para las tareas de nivel 1 de mantenimiento	En el intervalo [0 a 4], siendo: 0: Es necesario el almacenamiento de muchos repuestos que son, además, de difícil manipulación. 4: Escaso almacenamiento de repuestos que son, además, fácilmente manejables.
2	Comprobar requerimientos de almacenamiento y manipulación de repuesto para las tareas de nivel 2 de mantenimiento	
3	Comprobar requerimientos de almacenamiento y manipulación de repuesto para las tareas de nivel 3 de mantenimiento	
4	Comprobar requerimientos de almacenamiento y manipulación de repuesto para las tareas de nivel 4 de mantenimiento	
5	Comprobar requerimientos de almacenamiento y manipulación de repuesto para las tareas de nivel 5 de mantenimiento	

g) Herramientas y útiles (V7)

<i>Nivel</i>	<i>La observación de este atributo tiene como objetivo:</i>	<i>Escala de evaluación:</i>
1	Comprobar los requerimientos de herramientas y/o útiles para la realización de las tareas de nivel 1 de mantenimiento	En el intervalo [0 a 4], siendo: 0: Son necesarias muchas herramientas y/o útiles, que no se encuentran fácilmente. 4: Son necesarias pocas herramientas y/o útiles y estas son estándar.
2	Comprobar los requerimientos de herramientas y/o útiles para la realización de las tareas de nivel 2 de mantenimiento	
3	Comprobar los requerimientos de herramientas y/o útiles para la realización de las tareas de nivel 3 de mantenimiento	
4	Comprobar los requerimientos de herramientas y/o útiles para la realización de las tareas de nivel 4 de mantenimiento	
5	Comprobar los requerimientos de herramientas y/o útiles para la realización de las tareas de nivel 5 de mantenimiento	

h) Coordinación interdepartamental (V8)

<i>Nivel</i>	<i>La observación de este atributo tiene como objetivo:</i>	<i>Escala de evaluación:</i>
1	Comprobar el número de requisitos para la realización de las tareas de nivel 1 de mantenimiento	En el intervalo [0 a 4], siendo: 0: Gran dificultad para la realización de la tarea de mantenimiento. Es necesaria la coordinación entre muchos departamentos, personas, solicitud de permisos, etc. 4: La tarea de mantenimiento se programa y realiza de forma fácil con escasas necesidades de coordinación con otros departamentos.
2	Comprobar el número de requisitos para la realización de las tareas de nivel 2 de mantenimiento	
3	Comprobar el número de requisitos para la realización de las tareas de nivel 3 de mantenimiento	
4	Comprobar el número de requisitos para la realización de las tareas de nivel 4 de mantenimiento	
5	Comprobar el número de requisitos para la realización de las tareas de nivel 5 de mantenimiento	

i) Documentación (V9)

<i>Nivel</i>	<i>La observación de este atributo tiene como objetivo:</i>	<i>Escala de evaluación:</i>
1	Comprobar que se proveen manuales con las instrucciones adecuadas para las actividades de nivel 1 de mantenimiento	En el intervalo [0 a 4], siendo: 0: No existe documentación adecuada para realizar las tareas de mantenimiento y solucionar problemas. 4: Existe muy buena y completa documentación
2	Comprobar que se proveen manuales con las instrucciones adecuadas para las actividades de nivel 2 de mantenimiento	
3	Comprobar que se proveen manuales con las instrucciones adecuadas para las actividades de nivel 3 de mantenimiento	
4	Comprobar que se proveen manuales con las instrucciones adecuadas para las actividades de nivel 3 de mantenimiento	
5	Comprobar que se proveen manuales con las instrucciones adecuadas para las actividades de nivel 5 de mantenimiento	

EJEMPLO DE CÁLCULO DE INDICADORES DE MANTENIBILIDAD.

Ejemplo de cálculo de indicador de mantenibilidad general:

Atributo general Gi Denominación		Evaluación del atributo Gi (0 a 4)	Importancia para mantenibilidad P _{Gi} (0 a 4)	Cálculo del peso $P_{Gi} = \frac{P_{Gi}}{\sum_{i=1}^8 P_{Gi}}$	Peso p _{Gi}
G1	Simplicidad	3	3	3/20 =	0,15
G2	Identificación	2	1	1/20 =	0,05
G3	Modularización	3	2	2/20 =	0,1
G4	Tribología	1	2	2/20 =	0,1
G5	Ergonomía	3	4	4/20 =	0,2
G6	Estandarización	3	4	4/20 =	0,2
G7	Vigilancia	4	3	3/20 =	0,15
G8	Relación con fabricante	4	1	1/20 =	0,05
Total		20			1
IMG	Indicador de Mantenibilidad General $IMG = \sum_{i=1}^8 (Gi \times p_{Gi})$	2,95			

Ejemplo de cálculo de indicador de mantenibilidad específico nivel 1:

Atributo específico del Nivel 1 de mantenimiento Vi Denominación		Evaluación del atributo Vi (0 a 4)	Importancia para mantenibilidad P _{Vi} (0 a 4)	Cálculo del peso $P_{Vi} = \frac{R_{Vi}}{\sum_{i=1}^9 R_{Vi}}$	Peso p _{Vi}
V1	Accesibilidad	3	3	3/28 =	0,11
V2	Montaje/Desmontaje	2	3	3/28 =	0,11
V3	Formación	1	4	4/28 =	0,14
V4	Organización del personal	2	2	2/28 =	0,07
V5	Entorno	2	4	4/28 =	0,14
V6	Repuestos	3	4	4/28 =	0,14
V7	Herramientas y útiles	4	4	4/28 =	0,14
V8	Coordinación interdepartamental	2	1	1/28 =	0,04
V9	Documentación	3	3	3/28 =	0,11
Total		28			1
IMN ₁	Indicador de Mantenibilidad Nivel 1 $IMN_1 = \sum_{i=1}^9 (Vi \times p_{Vi})$	2,179			

Ejemplo de cálculo de indicador de mantenibilidad específico nivel 2:

Atributo específico del Nivel 2 de mantenimiento		Evaluación del atributo	Importancia para mantenibilidad	Cálculo del peso	Peso
V_i	Denominación	V_i (0 a 4)	P_{V_i} (0 a 4)	$P_{V_i} = \frac{P_{V_i}}{\sum_{i=1}^9 P_{V_i}}$	p_{V_i}
V1	Accesibilidad	3	0	0/19 =	0,00
V2	Montaje/Desmontaje	2	4	4/19 =	0,21
V3	Formación	1	4	4/19 =	0,21
V4	Organización del personal	2	1	1/19 =	0,05
V5	Entorno	2	0	0/19 =	0,00
V6	Repuestos	3	2	2/19 =	0,11
V7	Herramientas y útiles	4	3	3/19 =	0,16
V8	Coordinación interdepartamental	2	3	3/19 =	0,16
V9	Documentación	3	2	2/19 =	0,11
Total			19		1
IMN ₂	Indicador de Mantenibilidad Nivel 2 $IMN_2 = \sum_{i=1}^9 (V_i \times p_{V_i})$	2,000			

ANEXO B (CÁLCULOS DE LAS LINEALIZACIONES).

CÁLCULOS DE LINEALIZACIÓN MANTENIBILIDAD GENERAL

Linealización mes de enero:

Anexo B Coordenadas linealización enero 2015

Orden (n)	Valores ordenados por unidad de tiempo (t-horas) Reparación	Mediana (M) $M = \frac{n-0,3}{N+0,4}$	Y	X
			$\ln (\ln (1 / (1-\text{Rango Mediana})))$	$\ln(t^{-v})$
1	0,317	0,045454545	-3,067872615	-2,148434413
2	0,500	0,11038961	-2,145823454	-1,203972804
3	0,500	0,175324675	-1,646280772	-1,203972804
4	0,667	0,24025974	-1,29178935	-0,762140052
5	1,000	0,305194805	-1,010261447	-0,223143551
6	1,500	0,37012987	-0,771667529	0,262364264
7	1,667	0,435064935	-0,560288167	0,382992252
8	2,000	0,5	-0,366512921	0,587786665
9	2,000	0,564935065	-0,183610407	0,587786665
10	2,450	0,62987013	-0,006117338	0,810930216
11	2,450	0,694805195	0,171264823	0,810930216
12	2,500	0,75974026	0,354897648	0,832909123
13	4,000	0,824675325	0,554526136	1,335001067
14	6,317	0,88961039	0,79015558	1,811017286
15	22,517	0,954545455	1,128508398	3,105333783

Anexo B Coordenadas linealización febrero 2015

Orden (n)	Valores ordenados por unidad de tiempo (t) Reparación	Mediana (M) $M = \frac{n-0,3}{N+0,4}$	Y	X
			$\ln (\ln (1 / (1-\text{Rango Mediana})))$	$\ln(t)$
1	0,5	0,040229885	-3,192684658	-2,525728644
2	0,8	0,097701149	-2,274877577	-1,108662625
3	1,0	0,155172414	-1,780091531	-0,544727175
4	2,0	0,212643678	-1,43098059	0,436102078
5	2,0	0,270114943	-1,1556011	0,457424847
6	3,0	0,327586207	-0,924117873	0,947789399
7	10,5	0,385057471	-0,721080787	2,310553263
8	15,4	0,442528736	-0,53726488	2,707827954
9	16,8	0,5	-0,366512921	2,797078062
10	17,2	0,557471264	-0,204260615	2,821180454
11	17,3	0,614942529	-0,046711512	2,823163008
12	17,3	0,672413793	0,109754476	2,826129489
13	20,5	0,729885057	0,269192971	3,000553964
14	22,2	0,787356322	0,437052522	3,080992118
15	22,3	0,844827586	0,622305333	3,083285171
16	22,5	0,902298851	0,844082105	3,094672221
17	22,5	0,959770115	1,167250255	3,095426768

Linealización mes de marzo:

Anexo B Coordenadas linealización marzo 2015

Orden (n)	Valores ordenados por unidad de tiempo (t) Reparación	Mediana (M) $M = \frac{n - 0,3}{N + 0,4}$	Y	X
			$\ln (\ln (1 / (1\text{-RangoMediana})))$	$\ln(t)$
1	0,32	0,03804348	-3,249695277	-1,149905583
2	0,50	0,0923913	-2,333642983	-0,693147181
3	0,50	0,14673913	-1,840802966	-0,693147181
4	1,00	0,20108696	-1,493865448	0
5	1,00	0,25543478	-1,220933047	0
6	3,50	0,30978261	-0,992230882	1,252762968
7	5,00	0,36413043	-0,792389069	1,609437912
8	5,00	0,41847826	-0,612292022	1,609437912
9	6,00	0,47282609	-0,445935947	1,791759469
10	7,60	0,52717391	-0,288979395	2,028148247
11	7,77	0,58152174	-0,137963674	2,049841072
12	8,12	0,63586957	0,010191033	2,093919561
13	8,25	0,69021739	0,158613128	2,1102132
14	16,57	0,74456522	0,310999219	2,807392644
15	17,92	0,79891304	0,472511635	2,885731378
16	19,82	0,85326087	0,651855749	2,986523334
17	21,42	0,9076087	0,867823929	3,064169435
18	21,72	0,96195652	1,184491961	3,078080015

Linealización mes de abril.

Anexo B Coordenadas linealización abril 2015

			Y	X
Orden (n)	Valores ordenados por unidad de tiempo (t) Reparación	Mediana (M) $M = \frac{n - 0,3}{N + 0,4}$	ln (ln (1 / (1-Rango Mediana)))	ln(t)
1	1,00	0,04545455	-3,067872615	0
2	1,57	0,11038961	-2,145823454	0,44895022
3	2,00	0,17532468	-1,646280772	0,693147181
4	6,00	0,24025974	-1,29178935	1,791759469
5	8,50	0,30519481	-1,010261447	2,140066163
6	9,00	0,37012987	-0,771667529	2,197224577
7	9,15	0,43506494	-0,560288167	2,213753879
8	9,92	0,5	-0,366512921	2,294216843
9	10,00	0,56493506	-0,183610407	2,302585093
10	19,90	0,62987013	-0,006117338	2,990719732
11	21,47	0,69480519	0,171264823	3,066501344
12	21,72	0,75974026	0,354897648	3,078080015
13	22,17	0,82467532	0,554526136	3,098589659
14	22,22	0,88961039	0,79015558	3,100842758
15	23,22	0,95454545	1,128508398	3,144870412

Linealización mes de mayo:

Anexo B Coordenadas linealización mayo 2015

Orden (n)	Valores ordenados por unidad de tiempo (t) Reparación	Mediana (M) $M = \frac{n - 0,3}{N + 0,4}$	Y	X
			$\ln (\ln (1 / (1-\text{Rango Mediana})))$	$\ln(t)$
1	1,42	0,040229885	-3,192684658	0,348306694
2	3,00	0,097701149	-2,274877577	1,098612289
3	4,50	0,155172414	-1,780091531	1,504077397
4	5,00	0,212643678	-1,43098059	1,609437912
5	6,00	0,270114943	-1,1556011	1,791759469
6	8,82	0,327586207	-0,924117873	2,17664387
7	9,00	0,385057471	-0,721080787	2,197224577
8	9,87	0,442528736	-0,53726488	2,289162073
9	10,52	0,5	-0,366512921	2,3529613
10	11,72	0,557471264	-0,204260615	2,46101233
11	15,10	0,614942529	-0,046711512	2,714694744
12	15,92	0,672413793	0,109754476	2,767366778
13	18,30	0,729885057	0,269192971	2,90690106
14	21,20	0,787356322	0,437052522	3,054001182
15	21,67	0,844827586	0,622305333	3,075774981
16	22,62	0,902298851	0,844082105	3,118687098
17	23,30	0,959770115	1,167250255	3,148453361

Linealización mes de junio:

Anexo B Coordenadas linealización junio 2015

Orden (n)	Valores ordenados por unidad de tiempo (t) Reparación	Mediana (M) $M = \frac{n - 0,3}{N + 0,4}$	Y	X
			$\ln (\ln (1 / (1 - \text{Rango Mediana})))$	$\ln(t)$
1	0,32	0,061403509	-2,758770808	-1,149905583
2	0,67	0,149122807	-1,823327725	-0,405465108
3	1,00	0,236842105	-1,308258602	0
4	2,00	0,324561404	-0,935491323	0,693147181
5	2,75	0,412280702	-0,632041114	1,011600912
6	3,32	0,5	-0,366512921	1,198960263
7	5,00	0,587719298	-0,120980941	1,609437912
8	8,00	0,675438596	0,11803237	2,079441542
9	16,10	0,763157895	0,364894181	2,778819272
10	21,02	0,850877193	0,643423761	3,045315774
11	21,37	0,938596491	1,026144924	3,061832075

Linealización mes de julio:

Anexo B Coordenadas linealización julio 2015

Orden (n)	Valores ordenados por unidad de tiempo (t) Reparación	Mediana (M)	Y	X
			$\ln (\ln (1 / (1-\text{Rango Mediana})))$	$\ln(t)$
1	1,02	0,061403509	-2,758770808	0,016529302
2	2,03	0,149122807	-1,823327725	0,709676483
3	3,05	0,236842105	-1,308258602	1,115141591
4	4,07	0,324561404	-0,935491323	1,402823663
5	5,08	0,412280702	-0,632041114	1,625967214
6	8,13	0,5	-0,366512921	2,095970844
7	9,15	0,587719298	-0,120980941	2,213753879
8	11,18	0,675438596	0,11803237	2,414424575
9	11,18	0,763157895	0,364894181	2,414424575
10	12,20	0,850877193	0,643423761	2,501435952
11	16,27	0,938596491	1,026144924	2,789118024

Linealización mes de agosto:

Anexo B Coordenadas linealización agosto 2015

Orden (n)	Valores ordenados por unidad de tiempo (t) Reparación	Mediana (M) $M = \frac{n - 0,3}{N + 0,4}$	Y	X
			$\ln (\ln (1 / (1-\text{Rango Mediana})))$	$\ln(t)$
1	1,00	0,040229885	-3,192684658	0
2	2,00	0,097701149	-2,274877577	0,693147181
3	2,02	0,155172414	-1,780091531	0,701445983
4	3,00	0,212643678	-1,43098059	1,098612289
5	3,07	0,270114943	-1,1556011	1,120591195
6	4,50	0,327586207	-0,924117873	1,504077397
7	6,00	0,385057471	-0,721080787	1,791759469
8	7,00	0,442528736	-0,53726488	1,945910149
9	8,30	0,5	-0,366512921	2,116255515
10	8,70	0,557471264	-0,204260615	2,163323026
11	9,00	0,614942529	-0,046711512	2,197224577
12	9,70	0,672413793	0,109754476	2,272125886
13	10,52	0,729885057	0,269192971	2,3529613
14	11,22	0,787356322	0,437052522	2,417400767
15	14,05	0,844827586	0,622305333	2,642622396
16	21,20	0,902298851	0,844082105	3,054001182
17	79,37	0,959770115	1,167250255	4,374078465

Linealización mes de septiembre:

Anexo B Coordenadas linealización septiembre 2015

			Y	X
Orden (n)	Valores ordenados por unidad de tiempo (t) Reparación	Mediana (M) $M = \frac{n - 0,3}{N + 0,4}$	$\ln (\ln (1 / (1 - \text{Rango Mediana})))$	$\ln(t)$
1	0,32	0,048611111	-2,999090431	-1,149905583
2	1,17	0,118055556	-2,074444344	0,15415068
3	2,00	0,1875	-1,571952527	0,693147181
4	3,00	0,256944444	-1,214075448	1,098612289
5	4,00	0,326388889	-0,928610507	1,386294361
6	4,00	0,395833333	-0,685367162	1,386294361
7	7,82	0,465277778	-0,468392324	2,056258206
8	10,77	0,534722222	-0,267721706	2,376454942
9	13,00	0,604166667	-0,076058454	2,564949357
10	14,97	0,673611111	0,113030157	2,705825506
11	21,90	0,743055556	0,306672154	3,086486637
12	47,50	0,8125	0,515201894	3,860729711
13	56,00	0,881944444	0,75921576	4,025351691
14	74,50	0,951388889	1,106548431	4,310799125

Linealización mes de octubre:

Anexo B Coordenadas linealización octubre 2015

Orden (n)	Valores ordenados por unidad de tiempo (t) Reparación	Mediana (M) $M = \frac{n - 0,3}{N + 0,4}$	Y	X
			$\ln (\ln (1 / (1-\text{Rango Mediana})))$	$\ln(t)$
1	1,07	0,036082474	-3,30362951	0,064538521
2	3,00	0,087628866	-2,389141012	1,098612289
3	6,00	0,139175258	-1,89802475	1,791759469
4	7,40	0,190721649	-1,552999198	2,00148
5	7,87	0,242268041	-1,28220259	2,062634423
6	7,95	0,293814433	-1,05590564	2,073171929
7	7,97	0,345360825	-0,858797897	2,07526617
8	8,00	0,396907216	-0,681842867	2,079441542
9	8,48	0,448453608	-0,51914459	2,138103454
10	9,62	0,5	-0,366512921	2,263497704
11	10,30	0,551546392	-0,220708967	2,332143895
12	10,32	0,603092784	-0,078986134	2,33376071
13	10,62	0,654639175	0,061250816	2,362425093
14	14,77	0,706185567	0,202783192	2,692372388
15	16,32	0,757731959	0,349043287	2,79218708
16	17,52	0,809278351	0,504972676	2,863152809
17	19,52	0,860824742	0,679059054	2,971268801
18	20,17	0,912371134	0,889800879	3,004031076
19	24,00	0,963917526	1,200551361	3,17805383

Anexo B Coordenadas linealización MTU

Linealización equipos Caterpillar 1 de 3:

Orden (n)	Valores ordenados por unidad de tiempo (t) Reparación	Mediana (M) $M = \frac{n}{N}$	X	Y
			ln(t)	ln (ln (1 / (1-Rango Mediana)))
1	0,27	0,01219512	-1,3217558	-4,400590474
2	0,32	0,02439024	-1,1499056	-3,701251165
3	0,32	0,03658537	-1,1499056	-3,289529142
4	0,50	0,04878049	-0,6931472	-2,995523884
5	0,50	0,06097561	-0,6931472	-2,76598934
6	0,50	0,07317073	-0,6931472	-2,57720739
7	0,50	0,08536585	-0,6931472	-2,416525267
8	0,50	0,09756098	-0,6931472	-2,276389668
9	0,75	0,1097561	-0,2876821	-2,151927884
10	1,00	0,12195122	0	-2,039812233
11	1,00	0,13414634	0	-1,937668612
12	1,00	0,14634146	0	-1,843743495
13	1,00	0,15853659	0	-1,756704675
14	1,00	0,17073171	0	-1,67551606
15	1,00	0,18292683	0	-1,599355769
16	1,00	0,19512195	0	-1,52756071
17	1,42	0,20731707	0,34830669	-1,459587993
18	1,50	0,2195122	0,40546511	-1,394987381
19	1,67	0,23170732	0,51082562	-1,3333812
20	2,00	0,24390244	0,69314718	-1,274449411
21	2,02	0,25609756	0,70144598	-1,217918316
22	2,50	0,26829268	0,91629073	-1,163551898
23	2,75	0,2804878	1,01160091	-1,111145087
24	3,00	0,29268293	1,09861229	-1,06051845
25	3,00	0,30487805	1,09861229	-1,011513972
26	3,00	0,31707317	1,09861229	-0,963991654
27	3,32	0,32926829	1,19896026	-0,917826756
28	4,00	0,34146341	1,38629436	-0,872907538
29	4,50	0,35365854	1,5040774	-0,829133392
30	5,00	0,36585366	1,60943791	-0,786413288

Continuará...

... Continúa.

Linealización equipos Caterpillar 2 de 3:

Orden (n)	Valores ordenados por unidad de tiempo (t) Reparación	Mediana (M) $M = \frac{n}{N}$	X	Y
			ln(t)	ln (ln (1 / (1-Rango Mediana)))
31	6,00	0,37804878	1,79175947	-0,744664469
32	6,00	0,3902439	1,79175947	-0,703811358
33	6,32	0,40243902	1,84319164	-0,663784613
34	7,00	0,41463415	1,94591015	-0,624520335
35	7,40	0,42682927	2,00148	-0,585959373
36	7,60	0,43902439	2,02814825	-0,548046729
37	7,87	0,45121951	2,06263442	-0,510731032
38	8,00	0,46341463	2,07944154	-0,47396408
39	8,12	0,47560976	2,09391956	-0,437700431
40	8,20	0,48780488	2,10413415	-0,401897038
41	8,25	0,5	2,1102132	-0,366512921
42	8,30	0,51219512	2,11625551	-0,331508864
43	8,48	0,52439024	2,13810345	-0,296847142
44	8,50	0,53658537	2,14006616	-0,262491259
45	8,82	0,54878049	2,17664387	-0,228405704
46	9,00	0,56097561	2,19722458	-0,194555719
47	9,00	0,57317073	2,19722458	-0,16090707
48	9,15	0,58536585	2,21375388	-0,127425815
49	9,62	0,59756098	2,2634977	-0,094078085
50	9,92	0,6097561	2,29421684	-0,060829839
51	10,30	0,62195122	2,3321439	-0,027646628
52	10,52	0,63414634	2,3529613	0,005506676
53	10,62	0,64634146	2,36242509	0,038666153
54	11,22	0,65853659	2,41740077	0,071869152
55	13,00	0,67073171	2,56494936	0,105154638
56	14,05	0,68292683	2,6426224	0,13856358
57	14,77	0,69512195	2,69237239	0,172139413
58	14,97	0,70731707	2,70582551	0,205928553
59	15,42	0,7195122	2,73544918	0,239981027
60	15,75	0,73170732	2,75684037	0,274351205
61	15,92	0,74390244	2,76736678	0,309098698

Continuará...

...Continúa.

Linealización equipos Caterpillar 3 de 3:

			X	Y
Orden (n)	Valores ordenados por unidad de tiempo (t) Reparación	Mediana (M) $M = \frac{n}{N}$	ln(t)	ln (ln (1 / (1-Rango Mediana)))
62	16,32	0,75609756	2,79218708	0,344289441
63	16,45	0,76829268	2,80032548	0,379997045
64	16,57	0,7804878	2,80739264	0,416304476
65	16,82	0,79268293	2,82237046	0,453306189
66	17,22	0,80487805	2,84587791	0,491110874
67	17,30	0,81707317	2,8507065	0,52984503
68	19,52	0,82926829	2,9712688	0,569657723
69	19,90	0,84146341	2,99071973	0,610727006
70	21,02	0,85365854	3,04531577	0,653268802
71	21,37	0,86585366	3,06183208	0,697549464
72	21,42	0,87804878	3,06416944	0,743904054
73	21,47	0,8902439	3,06650134	0,792763833
74	22,20	0,90243902	3,10009229	0,844699218
75	22,25	0,91463415	3,10234201	0,900490198
76	22,42	0,92682927	3,10980473	0,961248716
77	22,50	0,93902439	3,11351531	1,028647994
78	22,62	0,95121951	3,1186871	1,105397512
79	22,70	0,96341463	3,12236492	1,19637611
80	23,22	0,97560976	3,14487041	1,311994235
81	24,00	0,98780488	3,17805383	1,483130478
82	47,50	1	3,86072971	3,031257024

Anexo B Coordinadas linealización equipos MTU.

Linealización equipos MTU:

Orden (n)	Valores ordenados por unidad de tiempo (t) Reparación	Mediana (M) $M = \frac{n}{N+0,4}$	X	Y
			ln(t)	ln (ln (1 / (1-Rango Mediana)))
1	0,12	0,0308642	-2,1484344	-3,46252411
2	0,67	0,0617284	-0,4054651	-2,753322484
3	2,00	0,09259259	0,69314718	-2,331357595
4	2,00	0,12345679	0,69314718	-2,026702782
5	2,00	0,15432099	0,69314718	-1,786083154
6	2,00	0,18518519	0,69314718	-1,585748668
7	2,00	0,21604938	0,69314718	-1,413011101
8	3,00	0,24691358	1,09861229	-1,260277616
9	3,50	0,27777778	1,25276297	-1,122631247
10	4,00	0,30864198	1,38629436	-0,99669454
11	4,50	0,33950617	1,5040774	-0,880037155
12	5,00	0,37037037	1,60943791	-0,770841683
13	5,00	0,40123457	1,60943791	-0,667702935
14	5,00	0,43209877	1,60943791	-0,569500908
15	6,00	0,46296296	1,79175947	-0,475316571
16	8,67	0,49382716	2,15948425	-0,384373477
17	8,70	0,52469136	2,16332303	-0,295995314
18	9,00	0,55555556	2,19722458	-0,209573275
19	9,70	0,58641975	2,27212589	-0,124539126
20	10,00	0,61728395	2,30258509	-0,040340912
21	10,32	0,64814815	2,33376071	0,043581448
22	10,77	0,67901235	2,37645494	0,127823674
23	11,72	0,70987654	2,46101233	0,213051787
24	19,82	0,74074074	2,98652333	0,300050307
25	20,52	0,77160494	3,02123756	0,389795256
26	21,72	0,80246914	3,07808001	0,483573905
27	22,22	0,83333333	3,10084276	0,583198081
28	22,52	0,86419753	3,11425578	0,691422635
29	22,52	0,89506173	3,11425578	0,812876317
30	23,55	0,92592593	3,15912582	0,956545405
31	23,57	0,95679012	3,15983328	1,144759658
32	125,00	0,98765432	4,82831374	1,480342189

Anexo B Coordinadas linealización equipos Cummins

Linealización equipos Cummins 1 de 3:

Orden (n)	Valores ordenados por unidad de tiempo (t) Reparación	Mediana (M) $M = \frac{n}{N}$	X	Y
			ln(t)	ln (ln (1 / (1-Rango Mediana)))
1	0,20	0,01538462	-1,6094379	-4,166645192
2	0,32	0,03076923	-1,1499056	-3,465654514
3	0,32	0,04615385	-1,1499056	-3,052241572
4	0,67	0,06153846	-0,4054651	-2,756504282
5	1,00	0,07692308	0	-2,525194941
6	1,00	0,09230769	0	-2,334593686
7	1,00	0,10769231	0	-2,172045903
8	1,00	0,12307692	0	-2,029996338
9	1,07	0,13846154	0,06453852	-1,903570215
10	1,57	0,15384615	0,44895022	-1,789437659
11	1,65	0,16923077	0,50077529	-1,685222224
12	1,75	0,18461538	0,55961579	-1,589167961
13	1,97	0,2	0,67634006	-1,499939987
14	1,97	0,21538462	0,67634006	-1,416499427
15	2,00	0,23076923	0,69314718	-1,338021418
16	2,00	0,24615385	0,69314718	-1,263839688
17	2,00	0,26153846	0,69314718	-1,193407946
18	2,00	0,27692308	0,69314718	-1,12627232
19	2,00	0,29230769	0,69314718	-1,062051244
20	2,45	0,30769231	0,89608802	-1,000420501
21	2,45	0,32307692	0,89608802	-0,941101909
22	3,00	0,33846154	1,09861229	-0,883854631
23	3,07	0,35384615	1,1205912	-0,828468399
24	4,00	0,36923077	1,38629436	-0,774758177
25	4,00	0,38461538	1,38629436	-0,722559893
26	4,50	0,4	1,5040774	-0,671726992
27	6,00	0,41538462	1,79175947	-0,622127625
28	6,00	0,43076923	1,79175947	-0,573642326
29	6,00	0,44615385	1,79175947	-0,526162076

Continuará...

...Continúa.

Linealización equipos Cummins 2 de 3:

Orden (n)	Valores ordenados por unidad de tiempo (t) Reparación	Mediana (M) $M = \frac{n}{N}$	X	Y
			Ln(t)	Ln (ln (1 / (1-Rango Mediana)))
30	6,00	0,46153846	1,79175947	-0,479586667
31	7,00	0,47692308	1,94591015	-0,43382331
32	7,40	0,49230769	2,00148	-0,388785428
33	7,82	0,50769231	2,05625821	-0,344391598
34	7,95	0,52307692	2,07317193	-0,30056461
35	7,97	0,53846154	2,07526617	-0,25723061
36	8,70	0,55384615	2,16332303	-0,214318309
37	8,75	0,56923077	2,1690537	-0,171758234
38	9,00	0,58461538	2,19722458	-0,129481998
39	9,15	0,6	2,21375388	-0,087421572
40	9,87	0,61538462	2,28916207	-0,045508537
41	10,52	0,63076923	2,3529613	-0,003673299
42	11,00	0,64615385	2,39789527	0,038155775
43	11,45	0,66153846	2,43798973	0,080053307
44	11,52	0,67692308	2,44379526	0,122098008
45	12,25	0,69230769	2,50552594	0,164373955
46	15,10	0,70769231	2,71469474	0,206972128
47	16,10	0,72307692	2,77881927	0,249992286
48	16,32	0,73846154	2,79218708	0,293545295
49	16,52	0,75384615	2,80436997	0,337756089
50	17,52	0,76923077	2,86315281	0,382767501
51	17,92	0,78461538	2,88573138	0,428745303
52	18,07	0,8	2,89406862	0,475884995
53	18,30	0,81538462	2,90690106	0,524421156
54	19,95	0,83076923	2,99322914	0,574640632
55	20,17	0,84615385	3,00403108	0,626901698
56	21,20	0,86153846	3,05400118	0,681662833
57	21,72	0,87692308	3,07808001	0,739527648
58	21,90	0,89230769	3,08648664	0,801318447
59	22,17	0,90769231	3,09858966	0,868203997

Continuará...

...Continúa.

Linealización equipos Cummins 3 de 3:

			X	Y
Orden (n)	Valores ordenados por unidad de tiempo (t) Reparación	Mediana (M) $M = \frac{n}{N}$	ln (t)	ln (ln (1 / (1-Rango Mediana)))
59	22,17	0,90769231	3,09858966	0,868203997
60	23,30	0,92307692	3,14845336	0,941938735
61	23,82	0,93846154	3,17038562	1,025357817
62	56,00	0,95384615	4,02535169	1,123556896
63	74,50	0,96923077	4,31079913	1,247388578
64	79,37	0,98461538	4,37407846	1,428967586
65	314,00	1	5,74939299	3,031257024

Linealización fallas mecánicas 1 de 4:

Anexo B Coordenadas linealización fallas mecánicas

Orden (n)	Valores ordenados por unidad de tiempo (t) Reparación	Mediana (M) $M = \frac{n}{N}$	X	Y
			ln(t)	ln (ln (1 / (1-Rango Mediana)))
1	0,32	0,00877193	-1,1499056	-4,731796368
2	0,32	0,01754386	-1,1499056	-4,034214532
3	0,50	0,02631579	-0,6931472	-3,624281669
4	0,50	0,03508772	-0,6931472	-3,332098203
5	0,50	0,04385965	-0,6931472	-3,104419067
6	0,50	0,05263158	-0,6931472	-2,917527168
7	0,50	0,06140351	-0,6931472	-2,758770808
8	0,67	0,07017544	-0,4054651	-2,6205978
9	1,00	0,07894737	0	-2,498136602
10	1,00	0,0877193	0	-2,388060749
11	1,00	0,09649123	0	-2,287997411
12	1,00	0,10526316	0	-2,196194392
13	1,00	0,11403509	0	-2,111320878
14	1,00	0,12280702	0	-2,032342235
15	1,00	0,13157895	0	-1,958438109
16	1,00	0,14035088	0	-1,88894701
17	1,07	0,14912281	0,06453852	-1,823327725
18	1,42	0,15789474	0,34830669	-1,761131781
19	1,50	0,16666667	0,40546511	-1,701983355
20	1,65	0,1754386	0,50077529	-1,645564354
21	1,67	0,18421053	0,51082562	-1,591603126
22	1,75	0,19298246	0,55961579	-1,539865809
23	1,97	0,20175439	0,67634006	-1,490149602
24	1,97	0,21052632	0,67634006	-1,442277465
25	2,00	0,21929825	0,69314718	-1,396093906
26	2,00	0,22807018	0,69314718	-1,351461592
27	2,00	0,23684211	0,69314718	-1,308258602
28	2,00	0,24561404	0,69314718	-1,266376177
29	2,00	0,25438596	0,69314718	-1,225716863
30	2,00	0,26315789	0,69314718	-1,186192975

Continuará....

...Continúa

Linealización fallas mecánicas 2 de 4:

Orden (n)	Valores ordenados por unidad de tiempo (t) Reparación	Mediana (M) $M = \frac{n}{N}$	X	Y
			ln(t)	ln (ln (1 / (1-Rango Mediana)))
31	2,00	0,27192982	0,69314718	-1,147725307
32	2,00	0,28070175	0,69314718	-1,11024205
33	2,02	0,28947368	0,70144598	-1,07367787
34	2,50	0,29824561	0,91629073	-1,037973134
35	2,75	0,30701754	1,01160091	-1,003073237
36	3,00	0,31578947	1,09861229	-0,96892803
37	3,00	0,3245614	1,09861229	-0,935491323
38	3,00	0,33333333	1,09861229	-0,902720456
39	3,00	0,34210526	1,09861229	-0,870575923
40	3,50	0,35087719	1,25276297	-0,839021046
41	4,00	0,35964912	1,38629436	-0,808021684
42	4,00	0,36842105	1,38629436	-0,777545982
43	4,00	0,37719298	1,38629436	-0,747564146
44	4,00	0,38596491	1,38629436	-0,718048242
45	4,50	0,39473684	1,5040774	-0,688972021
46	4,50	0,40350877	1,5040774	-0,660310759
47	5,00	0,4122807	1,60943791	-0,632041114
48	5,42	0,42105263	1,68948062	-0,604141
49	6,00	0,42982456	1,79175947	-0,576589467
50	6,00	0,43859649	1,79175947	-0,549366602
51	6,00	0,44736842	1,79175947	-0,522453429
52	6,32	0,45614035	1,84319164	-0,495831822
53	7,00	0,46491228	1,94591015	-0,469484429
54	7,00	0,47368421	1,94591015	-0,443394593
55	7,40	0,48245614	2,00148	-0,417546286
56	7,82	0,49122807	2,05625821	-0,391924047
57	7,95	0,5	2,07317193	-0,366512921
58	7,97	0,50877193	2,07526617	-0,341298403
59	8,00	0,51754386	2,07944154	-0,316266388
60	8,25	0,52631579	2,1102132	-0,291403118

Continuará...

...Continúa.

Linealización fallas mecánicas 3 de 4:

Orden (n)	Valores ordenados por unidad de tiempo (t) Reparación	Mediana (M) $M = \frac{n}{N}$	X	Y
			ln(t)	ln (ln (1 / (1- Rango Mediana)))
61	8,30	0,53508772	2,11625551	-0,266695134
62	8,48	0,54385965	2,13810345	-0,242129232
63	8,67	0,55263158	2,15948425	-0,217692416
64	8,70	0,56140351	2,16332303	-0,193371856
65	8,75	0,57017544	2,1690537	-0,169154839
66	8,82	0,57894737	2,17664387	-0,145028734
67	9,00	0,5877193	2,19722458	-0,120980941
68	9,15	0,59649123	2,21375388	-0,096998848
69	9,62	0,60526316	2,2634977	-0,073069787
70	9,70	0,61403509	2,27212589	-0,049180985
71	9,92	0,62280702	2,29421684	-0,025319518
72	10,00	0,63157895	2,30258509	-0,001472253
73	10,32	0,64035088	2,33376071	0,022374202
74	10,62	0,64912281	2,36242509	0,04623356
75	11,22	0,65789474	2,41740077	0,070119918
76	11,72	0,66666667	2,46101233	0,094047828
77	13,00	0,6754386	2,56494936	0,11803237
78	14,77	0,68421053	2,69237239	0,142089241
79	14,77	0,69298246	2,69237239	0,166234846
80	15,10	0,70175439	2,71469474	0,190486403
81	15,92	0,71052632	2,76736678	0,214862064
82	16,10	0,71929825	2,77881927	0,239381043
83	16,32	0,72807018	2,79218708	0,264063776
84	16,45	0,73684211	2,80032548	0,288932091
85	16,57	0,74561404	2,80739264	0,31400941
86	16,82	0,75438596	2,82237046	0,339320988
87	17,25	0,76315789	2,84781214	0,364894181
88	17,52	0,77192982	2,86315281	0,390758772
89	19,52	0,78070175	2,9712688	0,41694735
90	19,90	0,78947368	2,99071973	0,443495766

Continuará...

...Continúa.

Linealización fallas mecánicas 4 de 4:

Orden (n)	Valores ordenados por unidad de tiempo (t) Reparación	Mediana (M) $M = \frac{n}{N}$	X	Y
			ln(t)	ln (ln (1 / (1-Rango Mediana)))
91	20,17	0,79824561	3,00403108	0,470443678
92	20,52	0,80701754	3,02123756	0,49783521
93	21,02	0,81578947	3,04531577	0,52571976
94	21,47	0,8245614	3,06650134	0,554152994
95	21,72	0,83333333	3,07808001	0,583198081
96	21,90	0,84210526	3,08648664	0,612927248
97	22,17	0,85087719	3,09858966	0,643423761
98	22,20	0,85964912	3,10009229	0,674784476
99	22,22	0,86842105	3,10084276	0,707123183
100	22,25	0,87719298	3,10234201	0,740575045
101	22,42	0,88596491	3,10980473	0,77530262
102	22,50	0,89473684	3,11351531	0,811504184
103	22,52	0,90350877	3,11425578	0,849425528
104	22,52	0,9122807	3,11425578	0,88937713
105	22,70	0,92105263	3,12236492	0,931760012
106	23,22	0,92982456	3,14487041	0,977106171
107	23,55	0,93859649	3,15912582	1,026144924
108	23,57	0,94736842	3,15983328	1,0799183
109	24,00	0,95614035	3,17805383	1,139997496
110	56,00	0,96491228	4,02535169	1,208931715
111	74,50	0,97368421	4,31079913	1,291320319
112	79,37	0,98245614	4,37407846	1,396999671
113	125,00	0,99122807	4,82831374	1,555234799
114	314,00	0,99999999	5,74939299	2,913473987

Tabla Anexo B Coordenadas linealización fallas eléctricas

Linealización fallas eléctricas 1 de 3:

Orden (n)	Valores ordenados por unidad de tiempo (t) Reparación	Mediana (M) $M = \frac{n}{N}$	X	Y
			ln(t)	ln (ln (1 / (1-Rango Mediana)))
1	0,20	0,01538462	-1,6094379	-4,166645192
2	0,32	0,03076923	-1,1499056	-3,465654514
3	0,32	0,04615385	-1,1499056	-3,052241572
4	0,67	0,06153846	-0,4054651	-2,756504282
5	1,00	0,07692308	0	-2,525194941
6	1,00	0,09230769	0	-2,334593686
7	1,00	0,10769231	0	-2,172045903
8	1,00	0,12307692	0	-2,029996338
9	1,07	0,13846154	0,06453852	-1,903570215
10	1,57	0,15384615	0,44895022	-1,789437659
11	1,65	0,16923077	0,50077529	-1,68522224
12	1,75	0,18461538	0,55961579	-1,589167961
13	1,97	0,2	0,67634006	-1,499939987
14	1,97	0,21538462	0,67634006	-1,416499427
15	2,00	0,23076923	0,69314718	-1,338021418
16	2,00	0,24615385	0,69314718	-1,263839688
17	2,00	0,26153846	0,69314718	-1,193407946
18	2,00	0,27692308	0,69314718	-1,12627232
19	2,00	0,29230769	0,69314718	-1,062051244
20	2,45	0,30769231	0,89608802	-1,000420501
21	2,45	0,32307692	0,89608802	-0,941101909
22	3,00	0,33846154	1,09861229	-0,883854631
23	3,07	0,35384615	1,1205912	-0,828468399
24	4,00	0,36923077	1,38629436	-0,774758177
25	4,00	0,38461538	1,38629436	-0,722559893
26	4,50	0,4	1,5040774	-0,671726992
27	6,00	0,41538462	1,79175947	-0,622127625
28	6,00	0,43076923	1,79175947	-0,573642326
29	6,00	0,44615385	1,79175947	-0,526162076
30	6,00	0,46153846	1,79175947	-0,479586667

Continuará...

...Continúa.

Linealización fallas eléctricas 2 de 3:

Orden (n)	Valores ordenados por unidad de tiempo (t) Reparación	Mediana (M) $M = \frac{n}{N}$	X	Y
			ln(t)	ln (ln (1 / (1-Rango Mediana)))
31	7,00	0,47692308	1,94591015	-0,43382331
32	7,40	0,49230769	2,00148	-0,388785428
33	7,82	0,50769231	2,05625821	-0,344391598
34	7,95	0,52307692	2,07317193	-0,30056461
35	7,97	0,53846154	2,07526617	-0,25723061
36	8,70	0,55384615	2,16332303	-0,214318309
37	8,75	0,56923077	2,1690537	-0,171758234
38	9,00	0,58461538	2,19722458	-0,129481998
39	9,15	0,6	2,21375388	-0,087421572
40	9,87	0,61538462	2,28916207	-0,045508537
41	10,52	0,63076923	2,3529613	-0,003673299
42	11,00	0,64615385	2,39789527	0,038155775
43	11,45	0,66153846	2,43798973	0,080053307
44	11,52	0,67692308	2,44379526	0,122098008
45	12,25	0,69230769	2,50552594	0,164373955
46	15,10	0,70769231	2,71469474	0,206972128
47	16,10	0,72307692	2,77881927	0,249992286
48	16,32	0,73846154	2,79218708	0,293545295
49	16,52	0,75384615	2,80436997	0,337756089
50	17,52	0,76923077	2,86315281	0,382767501
51	17,92	0,78461538	2,88573138	0,428745303
52	18,07	0,8	2,89406862	0,475884995
53	18,30	0,81538462	2,90690106	0,524421156
54	19,95	0,83076923	2,99322914	0,574640632
55	20,17	0,84615385	3,00403108	0,626901698
56	21,20	0,86153846	3,05400118	0,681662833
57	21,72	0,87692308	3,07808001	0,739527648
58	21,90	0,89230769	3,08648664	0,801318447
59	22,17	0,90769231	3,09858966	0,868203997
60	23,30	0,92307692	3,14845336	0,941938735

Continuará...

...Continúa.

Linealización fallas eléctricas:

			X	Y
Orden (n)	Valores ordenados por unidad de tiempo (t) Reparación	Mediana (M) $M = \frac{n}{N}$	ln(t)	ln (ln (1 / (1-Rango Mediana)))
61	23,82	0,93846154	3,17038562	1,025357817
62	56,00	0,95384615	4,02535169	1,123556896
63	74,50	0,96923077	4,31079913	1,247388578
64	79,37	0,98461538	4,37407846	1,428967586
65	314,00	1	5,74939299	3,031257024

Tabla Anexo B Coordenadas linealización fallas electrónicas

Linealización fallas electrónicas:

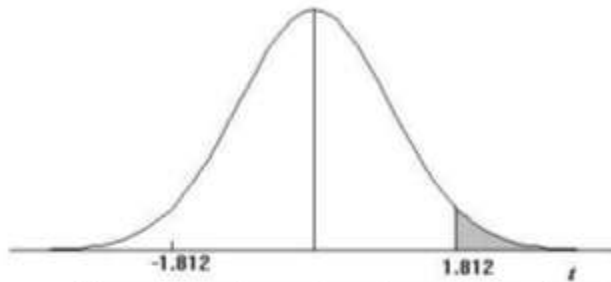
Orden (n)	Valores ordenados por unidad de tiempo (t) Reparación	Mediana (M) $M = \frac{n}{N+0,4}$	X	Y
			ln(t)	ln (ln (1 / (1-Rango Mediana)))
1	1,00	0,04	0,00	-3,09
2	1,17	0,09	0,15	-2,37
3	2,00	0,13	0,69	-1,94
4	2,00	0,18	0,69	-1,63
5	2,45	0,22	0,90	-1,38
6	2,45	0,27	0,90	-1,17
7	3,00	0,31	1,10	-0,98
8	3,00	0,36	1,10	-0,82
9	3,32	0,40	1,20	-0,67
10	5,00	0,45	1,61	-0,53
11	5,00	0,49	1,61	-0,39
12	9,00	0,54	2,20	-0,26
13	9,15	0,58	2,21	-0,14
14	9,87	0,63	2,29	-0,02
15	11,45	0,67	2,44	0,10
16	11,52	0,71	2,44	0,23
17	12,25	0,76	2,51	0,35
18	16,32	0,80	2,79	0,49
19	18,07	0,85	2,89	0,63
20	19,82	0,89	2,99	0,80
21	19,95	0,94	2,99	1,02
22	47,50	0,98	3,86	1,39

ANEXO C TABLA DE DISTRIBUCIÓN t DE STUDENT.

Puntos de porcentaje de la distribución t.

TABLA : DISTRIBUCIÓN t DE STUDENT

Puntos de porcentaje de la distribución t



Ejemplo

Para $\phi = 10$ grados de libertad:

$$P\{t > 1.812\} = 0.05$$

$$P\{t < -1.812\} = 0.05$$

α r	0.25	0.2	0.15	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0005
1	1,000	1,376	1,963	3,078	6,314	12,706	31,821	63,656	636,578
2	0,816	1,061	1,386	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	31,600
3	0,765	0,978	1,250	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	12,924
4	0,741	0,941	1,190	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610
5	0,727	0,920	1,156	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	6,869
6	0,718	0,906	1,134	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959
7	0,711	0,896	1,119	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	5,408
8	0,706	0,889	1,108	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	5,041
9	0,703	0,883	1,100	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781
10	0,700	0,879	1,093	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,587
11	0,697	0,876	1,088	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,437
12	0,695	0,873	1,083	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	4,318
13	0,694	0,870	1,079	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221
14	0,692	0,868	1,076	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	4,140
15	0,691	0,866	1,074	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073
16	0,690	0,865	1,071	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	4,015
17	0,689	0,863	1,069	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965
18	0,688	0,862	1,067	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,922
19	0,688	0,861	1,066	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,883
20	0,687	0,860	1,064	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,850
21	0,686	0,859	1,063	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,819
22	0,686	0,858	1,061	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,792
23	0,685	0,858	1,060	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,768
24	0,685	0,857	1,059	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,745
25	0,684	0,856	1,058	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,725
26	0,684	0,856	1,058	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,707
27	0,684	0,855	1,057	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,689
28	0,683	0,855	1,056	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,674
29	0,683	0,854	1,055	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,660
30	0,683	0,854	1,055	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,646
40	0,681	0,851	1,050	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	3,551
60	0,679	0,848	1,045	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	3,460
120	0,677	0,845	1,041	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617	3,373
∞	0,674	0,842	1,036	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	3,290

