

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y DE ENERGIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA



**“PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD
PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LA MAQUINARIA
EN ARRIENDO - EMPRESA MAQUIPERU SA”**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECÁNICO**

KEVIN ELADIO LESCOANO GAMARRA

Callao, 2019

PERÚ

Yasser Yarin
YASSER YARIN
DNI 4490306
CIP Nº 11

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y DE ENERGIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA



**“PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD
PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LA MAQUINARIA
EN ARRIENDO - EMPRESA MAQUIPERU SA”**

TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECÁNICO

KEVIN ELADIO LESCOANO GAMARRA

Callao, 2019

PERÚ

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En el auditorio Ausberto Rojas Saldaña de la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía, sito Av. Juan Pablo II N° 306, Bellavista - Callao, siendo las **10.12** hrs. del día sábado 07 de diciembre de 2019, se reunieron los miembros del Jurado Revisor y Evaluador para la Sustentación de Tesis del I Ciclo Taller de Tesis -Titulación por la modalidad de Tesis con Ciclo de Tesis- de la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía de la Universidad Nacional del Callao.

- Dr. Jaime Gregorio Flores Sánchez : Presidente
- Dr. Juan Manuel Lara Márquez : Secretario
- Dr. Rubén Francisco Pérez Bolívar : Vocal
- Mg. Juan Carlos Huamán Alfaro : 2do. Vocal (Suplente)

Designados por y Resolución Decanal N° 044-2019-D-FIME de fecha 22 de noviembre de 2019 y Resolución de Consejo de Facultad N° 165-2019-CF-FIME de fecha 26 de noviembre de 2019, a fin de proceder al acto de evaluación de la Tesis titulada: **"PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LA MAQUINARIA EN ARRIENDO - EMPRESA MAQUIPERU S.A"**, presentada por el señor Bachiller **LESCANO GAMARRA KEVIN ELADIO**.

Contando con la presencia del Supervisor General, Decano de la Facultad de Ingeniería Química, Dr. Luis Américo Carrasco Venegas, Supervisor de la FIME, Dr. José Hugo Tezen Campos y el representante de la Comisión de Grados y Títulos Eco. Guillermo Alonso Gallarday Morales.

A continuación, se dio inicio a la sustentación de la Tesis de acuerdo a lo normado en los artículos del 51° al 60° del CAPÍTULO III: TITULACIÓN y GRADUACIÓN CON CICLO TALLER DE TESIS del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Callao, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 245-2018-CU de fecha 30 de octubre de 2018.

Culminado el acto de sustentación, los señores miembros del Jurado Revisor y Evaluador procedieron a formular las preguntas al indicado bachiller, las mismas que no fueron absueltas satisfactoriamente.

Luego de un cuarto de intermedio, para la deliberación en privado del Jurado respecto a la evaluación de la Tesis, se acordó calificar la tesis sustentada por el señor bachiller **LESCANO GAMARRA KEVIN ELADIO** para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico por la modalidad de Tesis con Ciclo de Tesis, según la puntuación cuantitativa y cualitativa que a continuación se indica:


CALIFICACIÓN CUANTITATIVA	CALIFICACIÓN CUALITATIVA
16	Muy Buena


Finalmente, se procedió a leer en público el acta de sustentación.

Siendo las **10.39** horas del día sábado siete de diciembre del dos mil diecinueve, el señor Presidente del Jurado Revisor y Evaluador dio por concluido el acto de sustentación de Tesis.

En señal de conformidad con lo actuado, se levanta la presente acta.


Dr. Jaime Gregorio Flores Sánchez
Presidente de Jurado


Dr. Juan Manuel Lara Márquez
Secretario de Jurado


Dr. Rubén Francisco Pérez Bolívar
Vocal de Jurado


Mg. Juan Carlos Huamán Alfaro
2do. Vocal de Jurado

DEDICATORIA

El presente trabajo es dedicado a mis padres quienes me apoyaron de inicio a fin en este ciclo tan importante en mi carrera profesional.

A mi tío Benito por darme las fuerzas para seguir adelante y lograr mis objetivos trazados.

AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme dado salud, fortaleza y estar conmigo en todo momento para salir adelante en mi vida profesional.

Agradezco a la empresa MAQUIPERU SA en especial al Ing. Carlos Recavarren por brindarme su apoyo en poder utilizar datos de la empresa y así poder lograr la elaboración y culminación de mi tesis, también agradezco a mi asesor en Ing. Yasser Yarin Achachagua por estar dispuesto a contestar desinteresadamente cualquier duda que se me presentaba en la elaboración del presente trabajo de investigación.

INDICE

DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
INDICE	5
INDICE DE FIGURAS	8
INDICE DE TABLAS	9
INDICE DE ECUACIONES	11
RESUMEN	12
ABSTRAC	13
INTRODUCCIÓN	14
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.1. Identificación del Problema.....	15
1.2. Formulación del Problema.....	16
1.2.1. Problema General.....	16
1.2.2. Problemas Específicos.....	17
1.3. Objetivos de la investigación.....	17
1.3.1. Objetivo General.....	17
1.3.2. Objetivos Específicos.....	17
1.4. Limitantes de la investigación.....	17
1.4.1. Limitación Teórica.....	17
1.4.2. Limitación Temporal.....	18
1.4.3. Limitación Espacial.....	18
II. MARCO TEÓRICO	19
2.1. Antecedentes.....	19
2.1.1. Antecedentes Nacionales.....	19
2.1.2. Antecedentes internacionales.....	20
2.2. Filosofía del mantenimiento.....	21
2.3. Mantenimiento correctivo.....	22
2.4. Mantenimiento preventivo con base en el tiempo o en el uso.....	22

2.5. Mantenimiento preventivo con base en las condiciones	23
2.6. Mantenimiento de oportunidad	23
2.7. Detección de fallas	23
2.8. Modificación del diseño	23
2.9. Reparación general	23
2.10. Reemplazo.....	24
2.11. Parámetros de Mantenimiento	25
2.12. Gestión de Mantenimiento	25
2.13. Etapas de la Gestión de Mantenimiento.....	26
2.14. Indicadores de gestión para mantenimiento.....	27
2.14.1 Concepto de Disponibilidad.....	28
2.14.2 Concepto de Fiabilidad.....	29
2.14.3 Concepto de mantenibilidad	29
2.14.4 Indicador de costos de mantenimientos preventivos por costos de mantenimientos totales.....	30
2.15. Estimación de Parámetros	31
2.16. Distribución de Weibull.....	32
2.17. Método gráfico de papel de Weibull o ALLEN - PLAIT	33
2.18. Fundamentos de la distribución de Weibull	34
III. VARIABLES E HIPOTESIS.....	37
3.1. Definición de las Variables	37
3.1.1 Variable independiente.....	37
3.1.2 Variable Dependiente	38
3.2. Operacionalización de la variable	38
3.3. Hipótesis.....	39
3.3.1. Hipótesis General	39
3.3.2. Hipótesis Especificas.....	39
IV. DISEÑO METODOLÓGICO	39
4.1. Diseño y Tipo de investigación	39
4.2. Método de investigación	39
4.3. Población y Muestra	40

4.4. Lugar de estudio.....	40
4.5. Técnicas e instrumentación de recolección de la información	40
4.6. Análisis y procesamiento de datos.....	46
4.6.1. Indicadores de mantenimiento de los equipos en el año 2017.....	48
4.6.2. Indicadores de mantenimiento de los equipos en el año 2018.....	50
4.6.3. Análisis de modo y efecto de falla en el periodo 2017-2018	51
4.6.4. Análisis de falla y costos de reparación en la transmisión.	53
4.6.5. Análisis de falla y costos de abrazadera de pistón central	56
V. RESULTADOS.....	59
5.1. Resultados Descriptivos	59
5.2. Resultados Inferenciales	60
5.3. Otro tipo de resultados estadísticos, de acuerdo a la naturaleza del problema y la Hipótesis.	60
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	63
6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados	63
6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares	73
CONCLUSIONES.....	75
RECOMENDACIONES.....	76
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	77
ANEXOS	79

INDICE DE FIGURAS

Figura N°1.1 Porcentaje de equipos por modelo.....	16
Figura N°2.1 Estrategias de mantenimiento.....	24
Figura N°2.2 Papel de Weibull o Allen-Plait.....	34
Figura N°2.3 Función de tasa de falla.....	36
Figura N°4.1 Matriz de Criticidad.....	47
Figura N°4.2 Sistema de transmisión.....	54
Figura N°4.3 Abrazadera de pistón central.....	57
Figura N°6.1 Disponibilidad de equipo por año.....	64
Figura N°6.2 Tiempo medio entre falla (MTBF) por año.....	65
Figura N°6.3 Tiempo medio para reparar (MTTR) por año.....	67
Figura N°6.4 Cantidad de fallas de equipo por mes.....	73

INDICE DE TABLAS

Tabla N°2.1 Parámetro de forma Beta de Weibull.....	35
Tabla N°3.1 Operacionalización de las variables.....	38
Tabla N°4.1 Ponderación del FF.....	41
Tabla N°4.2 Ponderación del IP.....	41
Tabla N°4.3 Ponderación del SS.....	42
Tabla N°4.4 Ponderación del CR.....	42
Tabla N°4.5 Ponderación del TR.....	42
Tabla N°4.6 Ponderación del TO.....	43
Tabla N°4.7 Guía de consulta de gravedad o severidad.....	44
Tabla N°4.8 Guía de consulta de probabilidad de fallas.....	45
Tabla N°4.9 Guía de consulta de detección de fallas.....	46
Tabla N°4.10 Análisis de criticidad de equipos.....	46
Tabla N°4.11 Equipos de planta 2 – ERP035VT.....	48
Tabla N°4.12 Disponibilidad de equipos -2017.....	49
Tabla N°4.13 Disponibilidad de equipos -2018.....	50
Tabla N°4.14 Plan de mantenimiento (Año 2017-2018).....	51
Tabla N°4.15 AMEF – Montacargas ERP035VT.....	52
Tabla N°4.16 NPR – Según código de falla.....	53

Tabla N°4.17 Costos de mantenimiento – transmisión.....	55
Tabla N°4.18 Análisis del MTBF – Sistema de transmisión.....	55
Tabla N°4.19 Costos – Abrazadera de pistón central.....	57
Tabla N°4.20 Análisis del MTBF – Abrazadera de pistón central.....	58
Tabla N°5.1 Análisis del MTBF – Sistema de transmisión.....	59
Tabla N°5.2 Análisis del MTBF – Sistema de transmisión.....	59
Tabla N°5.3 Plan de mantenimiento centrado en confiabilidad.....	61
Tabla N°6.1 Disponibilidad de equipos planta 2– periodo del año 2017 al 2019.....	63
Tabla N° 6.2 MTBF de equipos planta 2 – Periodo del año 2017 al 2019.....	65
Tabla N° 6.3 MTTR de equipos planta 2 - Periodo del año 2017 al 2019.....	66
Tabla N° 6.4 Costos del mantenimiento de la transmisión del equipo.....	67
Tabla N° 6.5 Costos por cambio de abrazadera de pistón central y focos.....	68
Tabla N° 6.6 Cuadro de costos de mantenimiento preventivo al inicio de la investigación.....	69
Tabla N° 6.7 Cuadro de costos de mantenimiento al término de la investigación.....	70
Tabla N° 6.8 Costo de Mantenimiento Preventivo por Mantenimiento Totales.....	71
Tabla N° 6.9 Cantidad de falla por mes - Periodo del año 2017 al 2019.....	72

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Disponibilidad teórica.....	28
Ecuación 2. Disponibilidad.....	29
Ecuación 3. Tiempo promedio entre fallas.....	29
Ecuación 4. Tiempo promedio para reparar.....	30
Ecuación 5. Indicador Costos preventivos vs Correctivos.....	30
Ecuación 6. Parámetro escala Weibull.....	32
Ecuación 7. Esperanza (TBF).....	32
Ecuación 8. Tiempo medio entre fallas (MTBF).....	32
Ecuación 9. Esperanza (TTR).....	32
Ecuación 10. Tiempo medio de reparaciones (MTTR).....	33
Ecuación 11. Función de tasa de fallas.....	36
Ecuación 12. Ecuación para calculo en Weibull.....	37
Ecuación 13. Índice de criticidad.....	41
Ecuación 14. Cálculo del índice de criticidad.....	41
Ecuación 15. Número de Prioridad de riesgo.....	44

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo principal establecer mejoras en el plan de mantenimiento actual en la maquinaria de arriendo de la empresa MAQUIPERU SA, esto con el fin de incrementar la disponibilidad en los equipos de la empresa en uno de sus principales clientes, mediante un análisis de criticidad se logró encontrar los equipos críticos de este cliente enfocándose este trabajo de investigación en mejorar la disponibilidad de esos equipos.

Recopilando datos de las ordenes de trabajo que realiza el personal técnico de Maquiperu asignado para atención a este cliente y considerando que estos equipos entraron en operación a mediados del año 2017, se seleccionaron todas las fallas relevantes que presentaron en ese periodo.

Posteriormente se analizaron las causas que originaban estas fallas críticas mediante un análisis de modo y efecto de fallos (AMEF), también con estos datos se realizó un estudio con indicadores de confiabilidad como es el tiempo medio entre fallos y el tiempo medio entre reparación, en base estos resultados se propuso un nuevo plan de mantenimiento basado en confiabilidad, incrementando así la disponibilidad de estos equipos y mejorando la rentabilidad de los mismos.

ABSTRAC

The main objective of this research was to establish improvements in the current maintenance plan for the rental machinery of the company MAQUIPERU SA, in order to increase the availability of the company's equipment in one of its main clients, through an analysis criticality was able to find the critical equipment of this client focusing this research work on improving the availability of these equipment.

Gathering data from the work orders carried out by the Maquiperu technical staff assigned for this customer service and considering that these equipment started operating in mid-2017, all the relevant failures that were presented in that period were selected.

Subsequently, the causes that originated these critical failures were analyzed through a failure mode and effect analysis (AMEF), also with these data a study was conducted with reliability indicators such as the average time between failures and the average time between repairs, in Based on these results, a new maintenance plan based on reliability was proposed, thus increasing the availability of these equipment and thus improving their profitability.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, las organizaciones manufactureras y de servicios se han visto sometidas a una enorme presión para ser competitivas y ofrecer una entrega oportuna de productos de calidad. Este nuevo entorno ha obligado a los gerentes y los ingenieros a optimizar todos los sistemas que intervienen en sus organizaciones. El mantenimiento, como sistema, tiene una función clave en el logro de las metas y objetivos de la empresa. Contribuyendo en minimizar los costos, tiempos muertos de los equipos, mejorando la calidad e incrementado la productividad, contando con equipos confiables que sean seguro y estén bien configurados para lograr la entrega oportuna de las órdenes a los clientes. Además, un sistema de mantenimiento tiene un papel importante en minimizar los costos del ciclo de vida de los equipos. Para alcanzar la tasa de rendimiento sobre la inversión que se ha fijado como meta, se deben maximizar la disponibilidad de la planta y de los equipos que trabajen en ella.

La empresa elegida para el desarrollo de esta tesis, es una empresa Nacional con 18 años de experiencia en el mercado nacional, dedicada a la venta y alquiler de Maquinaria pesada, siendo el distribuidor oficial en Perú de la marca: Yale y Hyundai en maquinaria pesada.

Se realizará un análisis de la situación actual del área de mantenimiento y se planteará la implementación del Sistema de Gestión de Mantenimiento, apoyados en diversas herramientas, para encausar las operaciones del área de mantenimiento, planeando y gestionando de manera adecuada los recursos, mejorando a la vez los niveles de servicio de la maquinaria alquilada.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Identificación del Problema

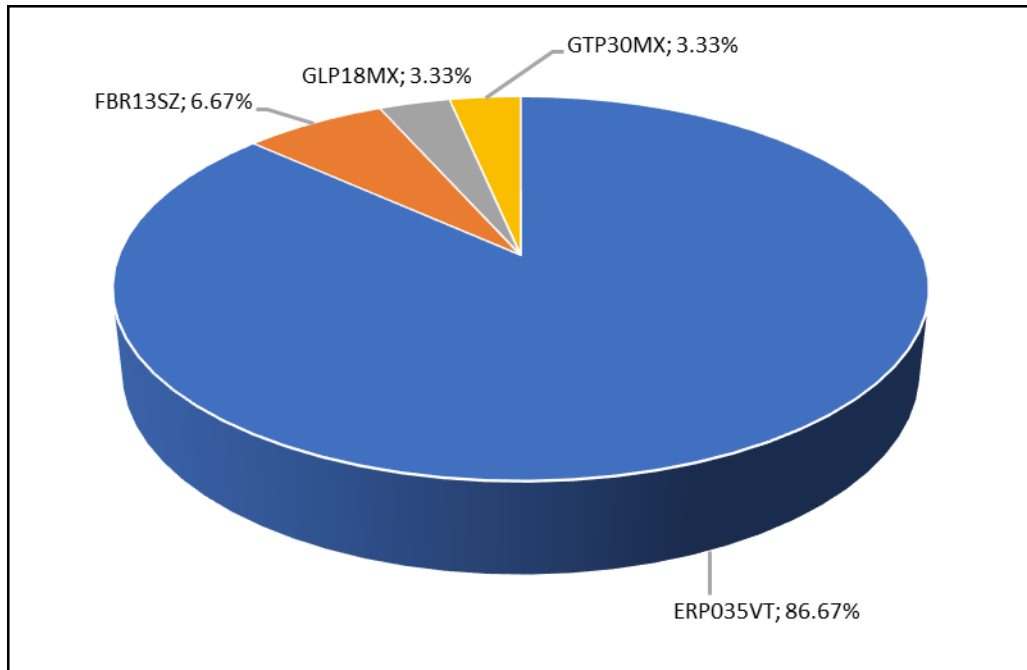
La empresa Maquinarias y Equipos del Perú SA (MAQUIPERU SA), ubicada en la Av. Nicolas Ayllon 1820, Distrito de San Luis, Provincia de Lima, se dedica a la venta y alquiler de maquinaria pesada, realizando trabajos de mantenimiento y/o reparación de equipos pesados, la cual cuenta con una flota de equipos conformados por: Montacargas a combustión, montacargas eléctricos, apiladores, transpaletas, cargadores frontales, elevadores y excavadoras hidráulicas.

Uno de los problemas principales en la empresa MAQUIPERU es que los planes de mantenimiento de los equipos alquilados se encuentran basados en un mantenimiento preventivo recomendado por fábrica, sin tomar en consideración que estos se encuentran sometidos a condiciones externas desfavorables, lo cual origina paradas imprevistas por fallas frecuentes de los equipos, incrementando el costo de mantenimiento correctivo no planificado, generando así sobre costo de los componentes, repuestos de reparación e incumplimiento en la programación de la producción en las diferentes empresas donde se arriendan estos equipos.

En la Figura N°1.1, muestra los modelos de equipos arrendados en uno de principales clientes de la empresa MAQUIPERU SA, por lo que se aprecia claramente que el modelo de montacargas eléctrico "ERP035VT" presenta la mayor cantidad de equipos con un 86.67% del total de equipos arrendados por este cliente, para lo cual se tomó como muestra un equipo de ese modelo encontrándose según las ordenes de trabajo recopiladas que el 66.67% de las paradas de ese equipo fueron por servicios correctivos y solo el 33.33% por servicios preventivos, por tanto, el enfoque es mejorar la disponibilidad de esos equipos.

Figura N° 1.1

Porcentaje de equipos por modelo



Fuente: Elaboración propia

A esta problemática se suma la falta de herramientas de control a través de formatos, procedimientos y supervisión, necesitando así una propuesta de mejora en la actual gestión de mantenimiento que se refleje de manera significativa en aumento de la disponibilidad de los equipos y en la disminución costos por mantenimientos correctivos no planificados.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema General

- ¿Con la aplicación de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad se mejorará la disponibilidad de la maquinaria en arriendo de la empresa MAQUIPERU SA?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cómo se incrementa el tiempo entre fallas utilizando un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad?
- ¿Cómo se reduce el tiempo promedio para reparar utilizando un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad?
- ¿Cómo el plan de mantenimiento centrado en confiabilidad permite reducir los costos de mantenimiento?

1.3. Objetivos de la investigación.

1.3.1. Objetivo General

Diseñar un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para mejorar la disponibilidad de la maquinaria en arriendo de la empresa MAQUIPERU SA.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Incrementar el tiempo entre fallas utilizando un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad.
- Reducir el tiempo promedio para reparar utilizando un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad.
- Reducir los costos de mantenimiento utilizando un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad.

1.4. Limitantes de la investigación

1.4.1. Limitación Teórica

Para realizar una investigación práctica y realizable se utilizan teorías de sistemas de mantenimiento planeación y control (Duffuaa, y otros, 2009), que se han desarrollado en otros países, las cuales serán adaptadas a la realidad de la empresa MAQUIPERU SA y el país.

Por lo tanto, en este aspecto NO habría limitante teórica.

1.4.2. Limitación Temporal

Los datos utilizados para esta investigación están comprendidos en un periodo de enero de 2018 hasta el periodo actual. El horizonte temporal para actualizar completamente el sistema de mantenimiento de maquinaria será de 4 años.

El autor de la presente investigación tiene el tiempo adecuado para poder realizar su informe de tesis, además de encontrarse laborando actualmente en MAQUIPERU SA desde octubre de 2016 por lo que, conoce los procesos internos en lo referente al área de servicio técnico operativo. Así también se tiene el acceso a entrevistas gerenciales, cuestionarios, informes del estado de maquinaria, encuestas a operarios y clientes.

1.4.3. Limitación Espacial

Esta investigación tiene como objeto de aplicación la empresa MAQUIPERÚ SA Ubicada en Av. Nicolas Ayllon N° 1820, San Luis Lima - Perú por lo tanto podría ser no aplicable para otras empresas o países.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes Nacionales

- Tuesta Yliquin (2014) en su tesis profesional “Plan De Mantenimiento Para Mejorar La Disponibilidad De Los Equipos Pesados De La Empresa Obrainsa”, refiere que la carencia de planes de mantenimiento genera que los equipos de la empresa OBRAINSA estén por debajo del 88% de disponibilidad mecánica.

Esta tesis tiene como objetivo principal establecer planes de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de la maquinaria de la empresa OBRAINSA, que están conformadas por (excavadoras, motoniveladoras, cargador frontal, tractores de carriles y volquetes), se planteó mejorar la disponibilidad de estos equipos mediante los indicadores de gestión basados en el TPM, logrando mejorar la Eficiencia Global de Equipos productivos (OEE) en 65% y aumentando el Tiempo promedio entre Fallas (MTTF) de los equipos de 2,323 horas a 3,857 horas, generando un ahorro de S/ 105 814.52 en mantenimiento y logrando una disponibilidad mecánica esperada del 91%.

Dichos resultados se obtuvieron mediante la recopilación de información generadas en las ordenes de trabajo realizadas por el personal técnico, aplicando el uso de los indicadores de gestión y otros recursos como entrenamiento, capacitación y entrevistas al personal de mantenimiento, aplicándose siempre la filosofía de las 5's.

Además, refleja una problemática similar a la maquinaria en arriendo de la empresa MAQUIPERÚ S.A., por lo cual será de gran aporte para el desarrollo de la presente TESIS, con el uso de indicadores de gestión basados en el TPM, y el fin de mejorar la disponibilidad mecánica en un porcentaje similar o mayor.

- Burga (2010) en su tesis profesional “Aplicación del mantenimiento centrado en confiabilidad a motores a gas de dos tiempos EN POZOS DE ALTA PRODUCCIÓN”, realiza un estudio aplicado a la empresa

PETROBRAS ENERGIA PERU S.A. la cual cuenta con 320 motores de combustión distribuidos en tres tipos (AJAX, ARROW, WAUKESHA), que se encargan de realizar el bombeo mecánico para la extracción de crudo.

En el periodo enero – noviembre 2005 tuvieron una pérdida de \$ 67423.85 por paradas no programadas en los motores, esta tesis tiene como objetivo la disminución de paradas no programadas mediante el mantenimiento centrado en confiabilidad utilizando herramientas como el análisis de modo de fallas y efecto de fallos (AMEF), y Numero de prioridad de riesgo (NPR) incrementando así la disponibilidad y confiabilidad en los motores.

Se encontraron 124 modos de falla, los cuales fueron analizados encontrándose que el 52.5% de partes de los equipos son críticos, enfocándose más en la mantención de los mismos y en mantener el stock de repuestos necesarios para el logro de los objetivos trazados.

Es importante el proceso realizado en esta tesis porque ejemplifica la efectividad del mantenimiento basado en la confiabilidad para la prevención de los motores que son utilizados para la extracción de crudo.

2.1.2. Antecedentes internacionales

- Jiménez Silva, y otros (2017) en su tesis profesional “PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD EN LÍNEA PILOTO EN LA COMPAÑÍA NACIONAL DE CHOCOLATES S.A”, indica que la compañía nacional de chocolates S.A.S. con sede en Bogotá cuenta con un número significativo de equipos a los cuales requiere implementar un plan de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad con el fin de evitar averías que afecten en la calidad del producto e incrementos de costos.

En los datos obtenidos indica que en el primer semestre del año 2017 las averías mes a mes fueron incrementando debido que la gran parte de los mantenimientos que se realizaban eran correctivos no planificados, en su propuesta permite aplicar los conceptos y principios de la teoría RCM, con el fin de establecer planes de mantenimientos preventivos basados en la

confiabilidad, utilizando herramientas como es el análisis de criticidad de los equipos, análisis de modo y efectos de fallas, y los indicadores de mantenimiento como son el tiempo medio entre fallas (TMF) y el tiempo medio de reparación (TMR), llegando a concluir que su propuesta facilitará la creación de tareas o estrategias de mantenimiento que permitirán prevenir o mitigar ocurrencias de fallas en los equipos, protegiendo así la calidad del producto y evitando sobrecostos.

- Mendoza Carvajal (2016) en su tesis para obtener el título de maestro “SISTEMA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA MOTORES ELÉCTRICOS DE INDUCCIÓN” que llevó a cabo en la industria de chocolates Breik, en la empresa en donde aplica esta investigación el autor determina las fallas de 19 sistemas de un total de 76 motores eléctricos durante un año en la gestión del año 2014,

Al implementar el análisis de RCM y al utilizar los indicadores como son Tiempo medio entre fallos (MTBF) y el tiempo medio para la reparación (MTTR), reduce el número de fallas de 38 en 255 días a 30 en 263 días para estos motores, a su vez el autor concluye que se reducen los tiempos de parada y aumenta la disponibilidad de los motores de 93% a 95%, mejorando la confiabilidad de 61.13% a 67.40%.

Esta investigación es importante porque demuestra la efectividad del mantenimiento centrado en confiabilidad y la mejora en disponibilidad de los motores eléctricos en la industria de chocolates Breik.

2.2. Filosofía del mantenimiento

Según Duffuaa, y otros (2019) “en cuanto a la filosofía del mantenimiento de una planta es básicamente la de tener un nivel mínimo de personal de mantenimiento que sea consistente con la optimización de la producción y la disponibilidad de la planta sin que se comprometa la seguridad. Para lograr esta filosofía, las siguientes estrategias pueden desempeñar un papel eficaz si se aplican en la combinación y forma correctas:”

1. Mantenimiento correctivo o por fallas.
2. Mantenimiento preventivo.
 - a. Mantenimiento preventivo con base en el tiempo o en el uso.
 - b. Mantenimiento preventivo con base en las condiciones.
3. Mantenimiento de oportunidad.
4. Detección de fallas.
5. Modificación del diseño.
6. Reparación general.
7. Reemplazo.

2.3. Mantenimiento correctivo

Este tipo de mantenimiento sólo se realiza cuando el equipo es incapaz de seguir operando. No hay elemento de planeación para este tipo de mantenimiento. Este es el caso que se presenta cuando el costo adicional de otros tipos de mantenimiento no puede justificarse. Este tipo de estrategia a veces se conoce como estrategia de operación-hasta-que-falle. Se aplica principalmente en los componentes electrónicos. (Duffuaa, y otros, 2009)

2.4. Mantenimiento preventivo con base en el tiempo o en el uso

El mantenimiento preventivo es cualquier mantenimiento planeado que se lleva a cabo para hacer frente a fallas potenciales. Pueden realizarse con base en el uso o las condiciones del equipo. El mantenimiento preventivo con base en el uso o en el tiempo se lleva a cabo de acuerdo con las horas de funcionamiento o un calendario establecido. Requiere un alto nivel de planeación. Las rutinas específicas que se realizan son conocidas, así como sus frecuencias. En la determinación de la frecuencia generalmente se necesitan conocimientos acerca de la distribución de las fallas o la confiabilidad del equipo. (Duffuaa, y otros, 2009)

2.5. Mantenimiento preventivo con base en las condiciones

Este mantenimiento preventivo se lleva a cabo con base en las condiciones conocidas del equipo. La condición del equipo se determina vigilando los parámetros clave del equipo cuyos valores se ven afectados por la condición de éste. A esta estrategia también se le conoce como mantenimiento predictivo. (Duffuaa, y otros, 2009)

2.6. Mantenimiento de oportunidad

Este tipo de mantenimiento, como su nombre lo indica, se lleva a cabo cuando surge la oportunidad. Tales oportunidades pueden presentarse durante los períodos de paros generalmente programados de un sistema en particular, y pueden utilizarse para efectuar tareas conocidas de mantenimiento. (Duffuaa, y otros, 2009)

2.7. Detección de fallas

La detección de fallas es un acto o inspección que se lleva a cabo para evaluar el nivel de presencia inicial de fallas. Un ejemplo de detección de fallas es el de la verificación de la llanta de refacción de un automóvil antes de emprender un viaje largo. (Duffuaa, y otros, 2009)

2.8. Modificación del diseño

La modificación del diseño se lleva a cabo para hacer que un equipo alcance una condición que sea aceptable en ese momento. Esta estrategia implica mejoras y, ocasionalmente, expansión de fabricación del diseño por lo general requiere una coordinación con la función de ingeniería y otros departamentos dentro de la organización. (Duffuaa, y otros, 2009)

2.9. Reparación general

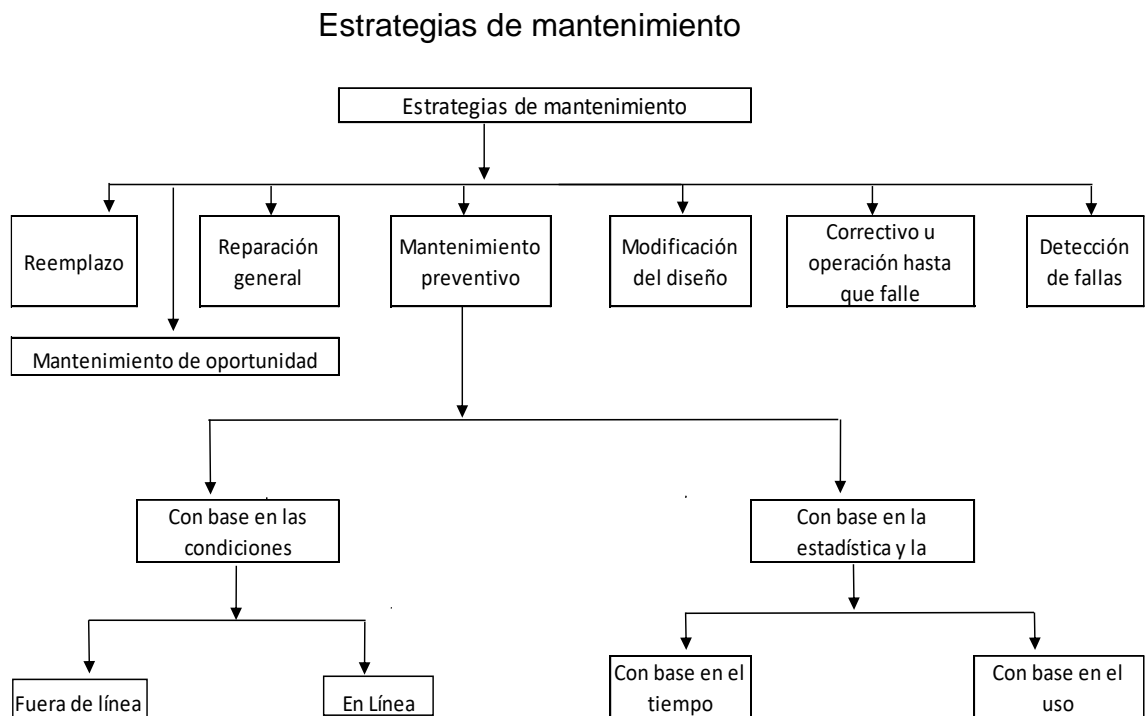
La reparación general es un examen completo y el restablecimiento de un equipo o sus componentes principales a una condición aceptable. Ésta es generalmente una tarea de gran envergadura.

2.10. Reemplazo

Esta estrategia implica reemplazar el equipo en lugar de darle mantenimiento. Puede ser un reemplazo planeado o un reemplazo ante una falla. (Duffuaa, y otros, 2009)

Cada una de estas estrategias de mantenimiento tiene una función en la operación de la planta. Es la mezcla óptima de estas estrategias la que da por resultado la filosofía de mantenimiento más eficaz. El tamaño de la planta y su nivel de operación planeado, junto con la estrategia de mantenimiento aplicable, pueden ayudar a estimar la carga de mantenimiento o las salidas deseadas del sistema de mantenimiento. La figura 2.1 resume las estrategias de mantenimiento. (Duffuaa, y otros, 2009)

Figura N° 2.1



Fuente: Duffuaa, y otros, 2009.

2.11. Parámetros de Mantenimiento

Un buen desempeño de las funciones de los equipos es necesario medir de forma simple sus características esenciales a través de los siguientes parámetros de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad (Ramírez Luz, 2017).

- Confiabilidad: Es la probabilidad de que un objeto o sistema opere bajo condiciones normales durante un periodo de tiempo establecido, el parámetro que identifica la confiabilidad es el Tiempo Medio de Fallas, es decir si no hay fallas, el equipo es 100% confiable, si la frecuencia de fallas es muy baja, se entendería que la confiabilidad del equipo es aún aceptable, pero si es muy alta, el equipo es poco confiable. (Mora Gutiérrez, 2009, p.95)
- Mantenibilidad: Es la probabilidad de que un elemento, máquina o dispositivo, puedan regresar a su estado de funcionamiento normal después de una avería, falla o interrupción productiva, siendo su parámetro básico el Tiempo Promedio Fuera de Servicio. (Mora Gutiérrez, 2009, p. 104)
- Disponibilidad: Este parámetro es tal vez el más importante dentro de un sistema productivo, ya que de él depende de la planificación del resto de actividades de la organización. “Como disponibilidad se define la probabilidad de que el equipo funcione satisfactoriamente en el momento en que sea requerido después del comienzo de su operación, cuando se usa bajo condiciones estables, donde el tiempo total considerado incluye el tiempo de operación”. (Mora Gutiérrez, 2009, p. 67)

2.12. Gestión de Mantenimiento

Una gestión de mantenimiento puede ser definida como la efectiva y eficiente utilización de los recursos materiales, económicos, humanos y de tiempo para alcanzar los objetivos del mantenimiento.

La gestión del mantenimiento industrial moderno se presenta como un conjunto de técnicas para cuidar la tecnología de los sistemas de producción

a lo largo de todo su ciclo de vida, llegando a utilizarlos con la máxima disponibilidad y siempre al menor costo, garantizando entre otras cuestiones, una asistencia técnica eficaz a través de una buena formación y gestión de competencias en el uso y mantenimiento de dichos sistemas asegurando la disponibilidad planeada dentro de las recomendaciones de garantía y uso de los fabricantes de los equipos. (Duffuaa, y otros, 2009)

2.13. Etapas de la Gestión de Mantenimiento

En una gestión de mantenimiento, la planificación y programación representan el punto de partida. Ella lleva involucrada la necesidad de imaginar y relacionar las actividades probables que habrán de cumplirse para lograr los objetivos y resultados esperados. A continuación, se describen cada una de las etapas de la gestión de mantenimiento:

- a) Planificación: Es un proceso que consiste en la definición de rutinas, procedimientos y en la elaboración de los planes detallados para horizontes relativamente largos, usualmente semanal, mensual, trimestrales o anuales, lo cual implica la determinación de las operaciones necesarias, mano de obra requerida, materiales a emplear, equipos a

utilizar y duración de las actividades. En la planificación del mantenimiento se debe considerar los siguientes aspectos:

- Se deben tener establecidos objetivos y metas en cuanto a los objetos a mantener.
 - Se debe garantizar la disponibilidad de los equipos.
 - Establecer un orden de prioridades para la ejecución de las acciones de mantenimiento.
 - Sistema de señalización y codificación lógica.
 - Inventario técnico.
 - Procedimientos y rutinas de mantenimiento.
 - Registro de fallas y causas.
 - Indicadores de gestión, estadísticas de tiempo de parada y tiempo de reparación.
- b) Programación: El proceso consiste en establecer las frecuencias para las asignaciones del mantenimiento preventivo, las fechas programadas son esenciales del mantenimiento para que exista una continua disponibilidad de equipos e instalaciones. Se inicia con la solicitud y envío de la orden de trabajo. (Duffuaa, y otros, 2009)
- c) Ejecución, control y evaluación: Estos procesos vinculan dos acciones administrativas de singular importancia como son la dirección y la coordinación de los esfuerzos del grupo de realizadores de las actividades generadas en los procesos de planificación y programación cuya finalidad es garantizar el logro de los objetivos propuestos. (Duffuaa, y otros, 2009)

2.14. Indicadores de gestión para mantenimiento

Considerando que el primer objetivo de trabajo, del área de mantenimiento, es el de propiciar el logro de altos índices de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad a favor de la producción. (Duffuaa, y otros, 2009)

Para poder establecer estos factores de efectividad de mantenimiento deberá ir acompañada de otros factores (índices secundarios), que permitan evaluar,

analizar y pronosticar su comportamiento. Los indicadores, nos permitirá medir de forma técnica, y mediante costos, la efectividad del mantenimiento.

2.14.1 Concepto de Disponibilidad

La disponibilidad es el principal parámetro asociado al mantenimiento, dado que limita la capacidad de producción.

Se define como la probabilidad de que una máquina esté preparada para producción en un período de tiempo determinado, o sea que no esté parada por averías o ajustes.

$$D = \frac{T_o}{T_o + T_p}$$

Ecuación 1. Disponibilidad teórica

Donde:

T_o = tiempo total de operación

T_p = tiempo total de parada

Los periodos de tiempo nunca incluyen paradas planificadas, ya sea por mantenimientos planificados, o por paradas de producción, dado a que estas no son debidas al fallo de la máquina.

Aunque la anterior es la definición natural de disponibilidad, se suele definir, de forma más practica a través de los tiempos medios entre fallos y de reparación.

Vemos que la disponibilidad depende de:

La frecuencia de las fallas.

El tiempo que nos demande en reanudar el servicio.

Así, se tiene que:

$$D = \frac{TPEF}{TPEF + TPPR}$$

Ecuación 2 Disponibilidad

Donde:

TPEF = Tiempo promedio entre fallos.

TPPR = Tiempo promedio de reparación.

2.14.2 Concepto de Fiabilidad

Es la probabilidad de que un equipo desempeñe satisfactoriamente las funciones para lo que fue diseñado, durante el periodo de tiempo especificado y bajo las condiciones de operaciones dadas. (Duffuaa, y otros, 2009)

El análisis de fallas constituye otra medida del desempeño de los sistemas, para ello se utiliza lo que denominamos la tasa de falla, por tanto, la media de tiempos entre fallas (TPEF) caracteriza la fiabilidad de la máquina.

El tiempo promedio entre falla mide el tiempo promedio que es capaz de operar el equipo a capacidad, sin interrupciones dentro de un periodo considerado de estudio

$$TPEF = \frac{HROP}{\sum NTFALLAS}$$

Ecuación 3. Tiempo promedio entre fallas

Donde:

HROP = Horas de operación.

NTFALLAS=Número de fallas detectadas

2.14.3 Concepto de mantenibilidad

Es la probabilidad de que un equipo en estado de fallo, pueda ser reparado a una condición especificada en un periodo de tiempo dado, y usando unos recursos determinado.

Por tanto, la media de tiempos de reparación (TPPR) caracteriza la mantenibilidad del equipo.

$$TPPR = \frac{TTF}{\sum NTFALLAS}$$

Ecuación 4 Tiempo promedio para reparar

Donde:

TTF = Tiempo Total de Fallas.

NTFALLAS = Número de fallas detectadas.

El tiempo promedio para reparación se relación entre el tiempo total de intervención correctiva y el número total de fallas detectadas, en el periodo observado. La relación existente entre el Tiempo Promedio Entre Fallas debe estar asociada con el cálculo del Tiempo

2.14.4 Indicador de costos de mantenimientos preventivos por costos de mantenimientos totales.

Este indicador pone de manifiesto el grado de utilización de técnicas preventivas frente a las correctivas.

$$CPTC = \frac{CP}{CTM}$$

Ecuación 5. Indicador Costos preventivos vs Correctivos.

Donde:

CPTC= Costo de Mantenimiento Preventivo por Mantenimiento Totales

CP= Costo Preventivo

CTM= Costo Totales de Mantenimiento (Preventivo + Correctivo)

Según Duffuaa, y otros (2009) en su libro Sistema de Mantenimiento Planeación y Control el mantenimiento se define como la combinación de actividades mediante las cuales un equipo o un sistema se mantiene en, o se restablece a, un estado en el que se puede realizar las funciones designadas. Es un factor importante en la calidad de los productos y puede utilizarse como una estrategia exitosa. Las inconsistencias en la operación del equipo de producción dan por resultado una variabilidad excesiva en el producto y, en consecuencia, ocasionan una producción defectuosa. Para producir con un alto nivel de calidad, el equipo de producción debe operar dentro de las especificaciones, las cuales pueden alcanzarse mediante acciones oportunas de mantenimiento.

Asimismo, definen un sistema es un conjunto de componentes que trabajan de manera combinada hacia un objetivo común. El mantenimiento puede ser considerado como un sistema con un conjunto de actividades que se realizan en paralelo con los sistemas de producción.

2.15. Estimación de Parámetros

Los datos analizados mediante las distribuciones pueden responder a diferentes características, de acuerdo con el tipo y el evento de estudio, como, por ejemplo, el tiempo de funcionamiento del equipo (MTTF), el tiempo de operación del sistema (MTBF), o el tiempo que tarda en repararse un equipo después de fallar (MTTR) (O'connor, 2002).

Los métodos que permiten realizar la estimación de los parámetros de una distribución varían entre simples sofisticados; algunos de los más comunes para realizar esta tarea son el método gráfico, el método de mínimos cuadrados (o de regresión) y el método gráfico de la máxima verosimilitud MLE (Mora Gutiérrez, 2009).

2.16. Distribución de Weibull

La distribución de Weibull responde a los parámetros β y η , que representan respectivamente, el factor de forma y de escala de la distribución. Estos parámetros se obtienen con la alineación de la distribución de Weibull mediante las transformaciones. (Mora Gutiérrez, 2009)

$$\text{Parámetro escala } \eta = \eta = e^{-\left[\frac{\alpha}{\text{Beta}}\right]} = e^{-\left[\frac{\text{Intersección}}{\text{Pendiente}}\right]}$$

Ecuación 6. Parámetro escala Weibull

Parámetro de forma $\text{Beta} = \beta = b = \text{Pendiente estimada de la recta alineada}$

- MTBF Weibull

$$\text{Esperanza (TBF)} = \text{MTBF} = \int_0^{\infty} R(t)dt = \int (1 - F(t)) * dt$$

Ecuación 7. Esperanza (TBF)

Donde:

MTBF es el tiempo medio entre fallas, $R(t)$ es la función de confiabilidad y $F(t)$ es la función de no confiabilidad.

$$\text{MTBF} = \eta * \text{Función Gamma} \left(1 + \frac{1}{1+\text{Beta}}\right)$$

Ecuación 8. Tiempo medio entre fallas (MTBF)

Donde:

η es el parámetro de escala y Beta es el de forma, con función Gamma para la estimación.

- MTTR Weibull

$$\text{Esperanza (TTR)} = \text{MTTR} = \int_0^{\infty} M(t)dt$$

Ecuación 9. Esperanza (TTR)

Donde:

MTTR es el tiempo medio de reparaciones con $M(t)$ como función de mantenibilidad. Además.

$$\text{MTTR} = \eta * \text{Función Gamma} \left(1 + \frac{1}{1+\text{Beta}} \right)$$

Ecuación 10. Tiempo medio entre fallas (MTTR)

Donde:

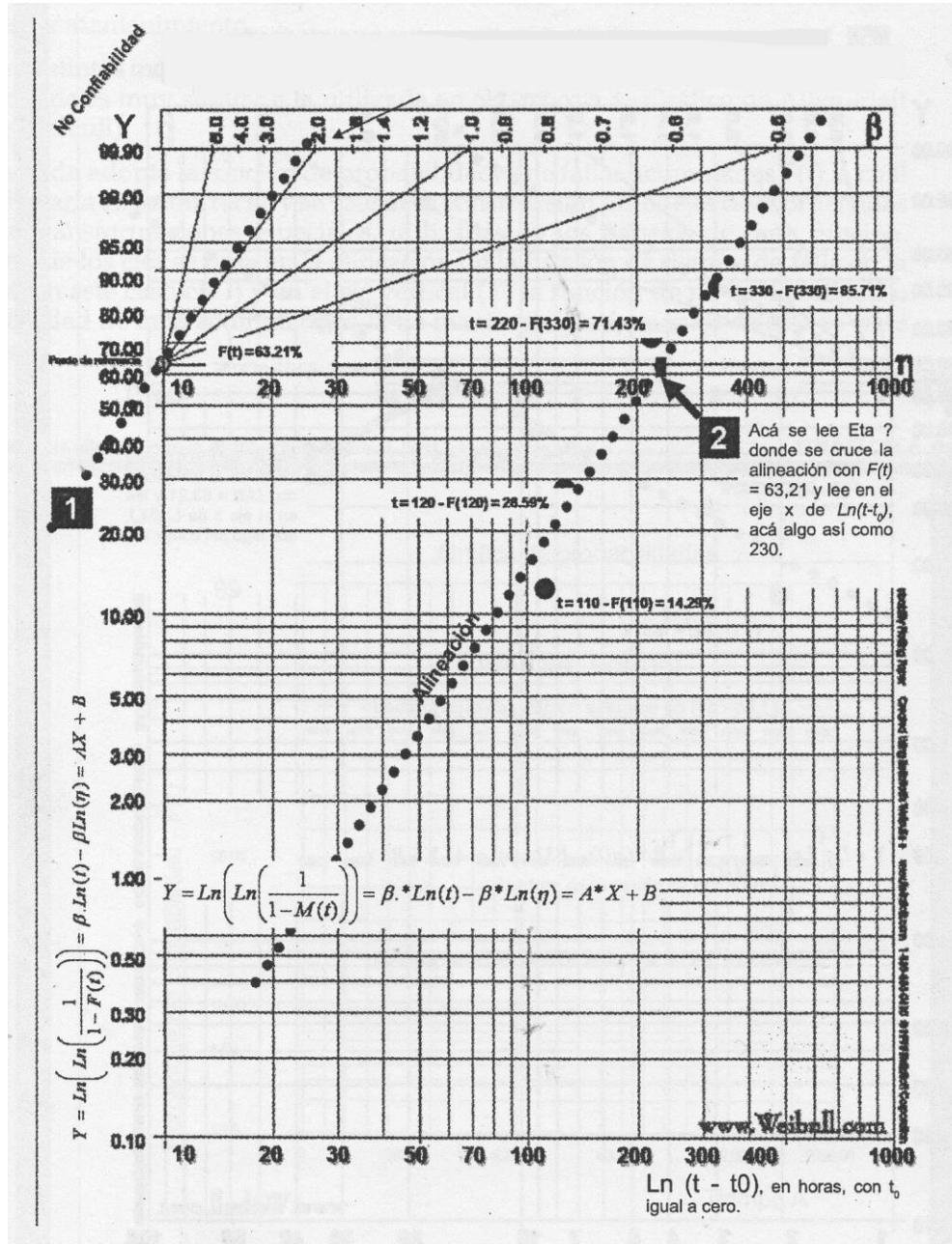
Eta es el parámetro de escala y Beta es el de forma, con función Gamma para la estimación.

2.17. Método gráfico de papel de Weibull o ALLEN - PLAIT

El procedimiento consiste en graficar los valores de $F(t)$ o de $M(t)$ en el eje Y, con sus respectivos tiempo t en el eje X. La forma que posee el papel de Weibull permite conformar una línea recta, a partir de la cual se logra valorar tanto la pendiente como su intersección con el eje Y vertical; y a partir de estos dos valores se pueden obtener los parámetros propios de la función Weibull de Beta, Eta, etc. (Mora Gutiérrez, 2009).

Figura N° 2.2

Papel de Weibull o Allen-Plait



Fuente: Mora Gutiérrez, 2009.

2.18. Fundamentos de la distribución de Weibull

Una de las ventajas significativas que ofrece la distribución de Weibull consiste en que es muy manejable y se acomoda a las tres zonas (infancia o rodaje,

madurez o vida útil y envejecimiento) de la curva de la bañera o de Davies. La distribución de Weibull posee en su forma general tres parámetros, lo que le da una gran flexibilidad y cuya selección y ajuste adecuado permiten obtener mejores ajustes, que con otras distribuciones (Rojas Arias, 1975).

- Gamma – Parámetro de posición (γ): El más difícil de estimar y por este motivo se asume con demasiada frecuencia que vale cero. Indica el lapso en el cual la probabilidad de falla es nula (Forcadas Feliu, 1983).
- Eta – Parámetro de escala o característica de vida útil (η): Su valor es determinante para fijar la vida útil del producto o del sistema. Cuanto más alto, las máquinas pueden ser más robustas o de trabajos de mayor duración (Mora Gutiérrez, 2009).
- Beta – Parámetro de forma (β): Refleja la disposición de los datos y determina la forma que toma la distribución.

El parámetro Beta permite a la distribución de Weibull tomar diversas formas: cuando β es inferior a 1 se le domina a esta fase como de mortalidad infantil (tasa de falla decreciente); cuando toma valores cercanos a uno se describe la fase con el nombre de vida útil (tasa de falla constante y aleatoria), y en el evento del β tomar valores mayores a 1, se conoce la fase como de envejecimiento o de desgaste (tasa de falla creciente) (Díaz Matalobos, 1992).

Tabla N° 2.1

Parámetro de forma Beta de Weibull

Valor (b)	Características
$0 < \beta < 1$	Tasa de falla decreciente
$\beta = 1$	Distribución exponencial
$1 < \beta < 2$	Tasa de falla creciente, cóncava
$\beta = 2$	Distribución Rayleigh
$\beta > 2$	Tasa de falla creciente, convexa
$3 \leq \beta \leq 4$	Tasa de falla creciente se aproxima a la distribución normal; simétrica

Fuente: Mora Gutiérrez, 2009

Mora Gutiérrez menciona que la tasa de fallas expresa la cantidad de averías o de reparaciones por unidad de tiempo que ocurren en el tiempo en que se estudia un elemento; en el caso particular de la distribución de Weibull, se puede escribir de la siguiente manera: (2009, p 144)

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

Ecuación 11. Función de tasa de fallas.

Donde:

$\lambda(t)$ = función de tasa de fallas.

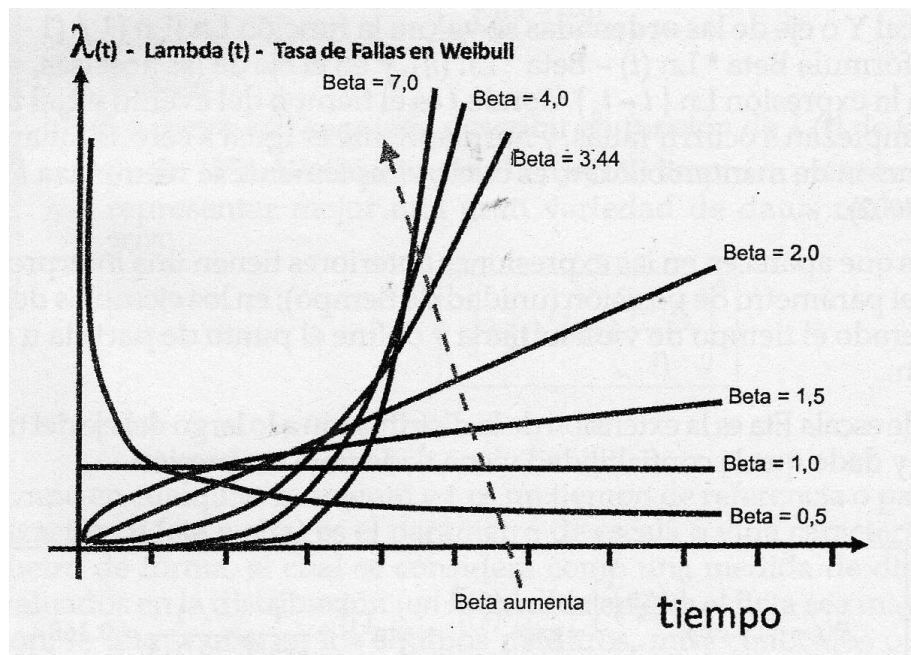
t = tiempo en cualquier momento

t_0 = tiempo de referencia o parámetro inicial de localización

η = parámetro de escala; β = parámetro de forma

Figura N°2.3

Función de tasa de falla



Fuente: Mora Gutiérrez, 2009

Ecuaciones de Weibull para alinear los datos y usar el papel de esta distribución según (Mora Gutiérrez, 2009). Asumiendo $t_0=0$

$$R(t) = 1 - F(t) = \exp[-\int \lambda(t) \cdot d(t)] = \exp\left[-\left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^\beta\right] = \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right]$$

Expresión que relaciona la confiabilidad con la no confiabilidad con la no confiabilidad; si se aplican logaritmos neperianos dos veces a ambos lados de la ecuación, ésta se transforma en:

$$\ln\left(\ln\left(\frac{1}{1-F(t)}\right)\right) = \beta * \ln(t) - \beta * \ln(\eta)$$

Para proceder a alinear esta expresión se recuerda que para líneas rectas la ecuación que las gobierna es del tipo $Y=AX+B$, donde A es la pendiente y B es la intersección con el eje Y.

$$Y = \ln\left(\ln\left(\frac{1}{1-F(t)}\right)\right) = \beta * \ln(t) - \beta * \ln(\eta) = A * X + B$$

Ecuación 12. Ecuación para calculo en Weibull

III. VARIABLES E HIPOTESIS

3.1. Definición de las Variables

El presente estudio, titulado: “PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LA MAQUINARIA EN ARRIENDO - EMPRESA MAQUIPERU SA” presenta una variable dependiente e independiente.

3.1.1 Variable independiente

Para evitar que se generen fallas repentinas en los equipos arrendados es necesario realizar y mantener un control adecuado de los equipos, por lo que la variable independiente es:

X= Plan de mantenimiento.

3.1.2 Variable Dependiente

Garantizar a nuestros clientes que no se generaran pérdidas en la producción por falta de equipos, para ello es necesario mantener los equipos arrendados operativos, por lo que la variable dependiente es:

Y= Disponibilidad de Maquinarias.

3.2. Operacionalización de la variable

La operacionalización de las variables dependientes e independientes se muestran en la Tabla N°3.1

Tabla N° 3.1

Operacionalización de las variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
VI: Plan de mantenimiento	Mantenimiento correctivo programado	Tiempo medio entre fallos (MTBF)
	Fallas de equipo	Tiempo medio para reparar (MTTR)
	Costos de mantenimiento	Costo de mantenimiento preventivo por mantenimiento totales
VD: Disponibilidad de Maquinarias	Tiempo promedio entre fallos	Disponibilidad

Fuente: Elaboración Propia

3.3. Hipótesis

3.3.1. Hipótesis General

Si se implementa un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad se logra mejorar la disponibilidad de la maquinaria en arriendo de la empresa MAQUIPERU SA.

3.3.2. Hipótesis Especificas

- Si se establece un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad se logra incrementar el tiempo entre fallas.
- Si se establece un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad se logra reducir el tiempo promedio para reparar.
- Si se establece un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad se logra reducir los costos de mantenimiento.

IV. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1. Diseño y Tipo de investigación

Según Hernández sampieri (2014) la presente investigación es no experimental porque no manipula las variables estudiadas, de tipo aplicada porque tiene como propósito transformar los conocimientos existentes, busca que las soluciones generen efectividad o productividad. (Espinoza Montes, 2010)

4.2. Método de investigación

El método de investigación es descriptivo comparativo porque recoge información actualizada de varias muestras sobre un mismo objeto de investigación y lo caracteriza sobre la base de una comparación. (Espinoza Montes, 2010)

4.3. Población y Muestra

La población es de tipo no probabilística está conformada por unidades que no han sido elegidas al azar. (Hernández sampieri, 2014).

La población está conformada por los 50 equipos del cliente principal de la empresa MAQUIPERU SA, y la muestra son los 27 equipos eléctricos que fueron seleccionados mediante un análisis de criticidad.

4.4. Lugar de estudio

El lugar de estudio se consideraría zonas de trabajos en condiciones no ideales, en las cuales los equipos arrendados se encuentren sometidos a trabajos extremos, ya sea por las condiciones ambientales o trabajos por 3 turnos, lo cual no permitan el buen desempeño de los equipos.

4.5. Técnicas e instrumentación de recolección de la información

En la realización de esta investigación se procederá a recolectar información relacionada con los equipos pesados arrendados de la empresa. Entre las técnicas empleadas para la recolección de la información, se encuentran: Lectura de datos de los manuales de suministrados por los fabricantes e informes de mantenimiento "Ordenes de trabajo".

4.5.1. Análisis de Criticidad

Esta técnica permitió analizar e identificar los equipos críticos, evaluando la frecuencia de la falla por su consecuencia y su impacto sobre la operación.

Esto se verifica mediante la cuantificación de un índice de criticidad (IC), a partir de las ecuaciones 13 y 14, y de la ponderación de las respuestas, según las Tabla N°4.1, Tabla N°4.2, Tabla N°4.3, Tabla N°4.4, Tabla N°4.5 y Tabla N°4.6. El (IC), según la ecuación (1.a), es el producto de la frecuencia de fallas (FF) y la consecuencia de la falla (CF). (Gasca, y otros, 2017)

$$IC = FF \times CF \dots (13)$$

Ecuación 13. Índice de criticidad.

La FF se evalúa a partir de la tasa estimada de incidencia de fallas.

Tabla N°4.1

Ponderación del FF

Frecuencia de Fallas (FF)	Valor
¿Qué tan frecuente son las fallas ocurridas?	
Menos de 1 por año	1
Entre 2 y 12 por año	2
Entre 13 y 52 por año	3
Más de 52 por año (más de una por semana)	4

Fuente: Gasca, y otros, 2017.

La (CF) se evalúa a partir de la suma de: el impacto en la producción (IP), el impacto en la seguridad y salud (SS), los costos de reparación (CR), el tiempo de reparación (TR), y el tiempo de operación (TO). (Gasca, y otros, 2017)

Finalmente, (IC) se calcula utilizando la ecuación (4.b).

$$IC = FF \times (IP + SS + CR + TR + TO) \dots (14)$$

Ecuación 14. Cálculo del índice de criticidad

Tabla N°4.2

Ponderación de IP

Impacto en la producción (IP)	Valor
¿Cuál es el impacto en la producción?	
Menor al 25%	1
25% de impacto	2
50% de impacto	3
75% de impacto	4

Fuente: Gasca, y otros, 2017.

Tabla N° 4.3

Ponderación del SS

Seguridad y Salud (ISS)	Valor
¿Cuál es la lesión mas significativa que puede presentarse en la operación del equipo?	
No hay algún riesgo de lesión	1
Lesiones leves (son asistidas dentro de la fábrica, no hay incapacidad)	2
Lesiones significativas (Incapacidad entre 1 y 30 días)	3
Lesiones de incapacidad parcial o permanente (Mayor de 30 días)	4

Fuente: Gasca, y otros, 2017.

Tabla N°4.4

Ponderación del CR

Costos de Reparación (CR)	Valor
¿Cuál es el costo anual del mantenimiento del equipo?	
Menos de 1000 dólares	1
Entre 1000 y 5000 dólares	2
Entre 5000 y 10 000 dólares	3
Más de 10 000 dólares	4

Fuente: Gasca, y otros, 2017.

Tabla N°4.5

Ponderación del TR

Tiempo de Reparación (TR)	Valor
¿Cuál es el tiempo promedio para reparar el equipo?	
Menor a 4 horas	1
Igual o mayor a 4 horas y menor a 6 horas	2
Igual o mayor a 6 horas y menor a 12 horas	3
Mayor a 12 horas	4

Fuente: Gasca, y otros, 2017.

Tabla N°4.6

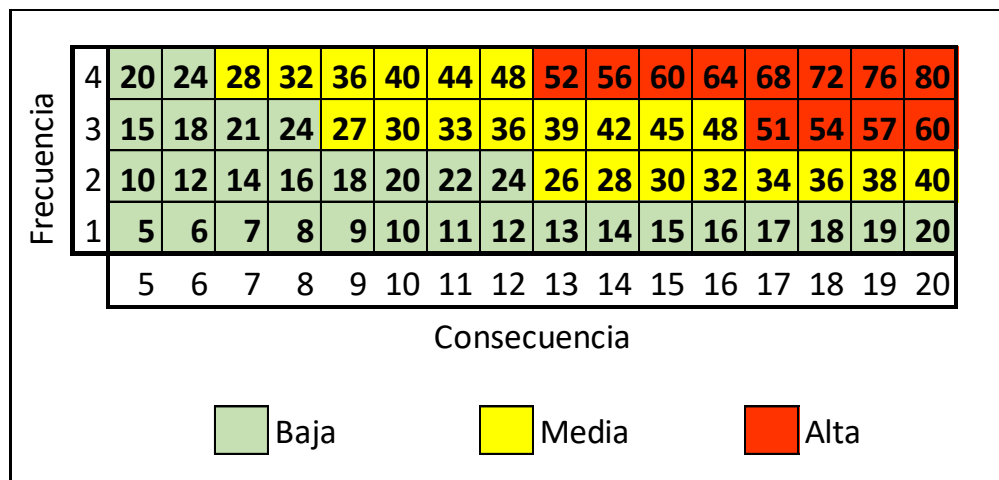
Ponderación del TO

Tiempo de Operación (TO)	Valor
¿Cuál es el tiempo de trabajo de esta máquina?	
Opcionalmente	1
Un turno de trabajo	2
Dos turnos de trabajo	3
Totalmente	4

Fuente: Gasca, y otros, 2017.

Figura N° 4.1

Matriz de Criticidad



Fuente: Gasca, y otros, 2017.

4.5.2 Análisis de modo y efecto de falla (AMEF)

Es un procedimiento que ayuda a identificar fallas en procesos, productos y sistemas, evaluando y clasificando de manera objetiva sus efectos, causas y elementos de identificación, para de esta forma, evitar su ocurrencia y tener un método documentado de prevención. (Moubray, 1997)

Para ello se tiene la siguiente ecuación:

$$NPR = G \times O \times D$$

Ecuación 15. Número de prioridad de riesgo.

Donde:

G = Gravedad o Severidad.

O = Ocurrencia (La probabilidad de que se produzca la falla).

D = Detención (Probabilidad de la NO detección).

NPR = Número de prioridad de riesgo.

Tabla N° 4.7

Guía de consulta de gravedad o severidad

GRAVEDAD		
EFFECTO	EFFECTO DE SEVERIDAD	VALOR
PELIGROSO SIN ALERTA	Valor de severidad muy alto cuando un modo de problema potencial afecta la operación del sistema sin alerta	10
PELIGROSO CON ALERTA	Valor de severidad muy alto cuando un modo de problema potencial afecta la operación del sistema con alerta	9
MUY ALTO	Identifica modos de problema potenciales y su impacto en la confiabilidad del proceso o actividad.	8
Alto	Sistema inoperable con equipo dañado.	7
Moderado	Sistema inoperable con daños menores.	6
Bajo	Sistema inoperable sin daños	5
Muy bajo	Sistemas operable con una significativa degradación de rendimiento.	4
Menor	Sistema operable con una degradación de rendimiento	3
Muy Menor	Sistema operable con mínima interferencia	2
Ninguno	No hay efectos	1

Fuente: Villarreal Albitres, 2017.

Tabla N° 4.8

Guía de consulta de probabilidad de fallas

OCURRENCIA		
PROBABILIDAD DE FALLO	PROBABILIDAD DE FALLO	Valor
Muy alta: Problemas casi inevitables	>1 en 2	10
	1 en 3	9
Alta: Fallos repetitivos	Identificar modos de Problema potenciales y su impacto en la confiabilidad del proceso o actividad	8
	1 en 20	7
Moderadas: Problemas ocasionables	1 en 80	6
	1 en 400	5
	1 en 2000	4
Baja: Pocos problemas relativamente	1 en 15 000	3
	1 en 150 000	2
Remota: Problema inverosímil	<1 en 1 500 000	1

Fuente: Villarreal Albitres, 2017.

Tabla N° 4.9

Guía de consulta de detección de falla

PROBABILIDAD DE NO DETECCIÓN	
Absoluta incertidumbre	10
Muy remota	9
Remota	8
Muy baja	7
Baja	6
Moderada	5
Muy moderada	4
Alta	3
Muy Alta	2
Casi seguro	1


Fuente: Villarreal Albitres, 2017.

4.6. Análisis y procesamiento de datos

Realizando el análisis de criticidad en uno de los principales clientes de la empresa MAQUIPERU que cuenta con 27 equipos arrendados se obtienen los siguientes resultados.

Tabla N° 4.10

Análisis de criticidad de equipos

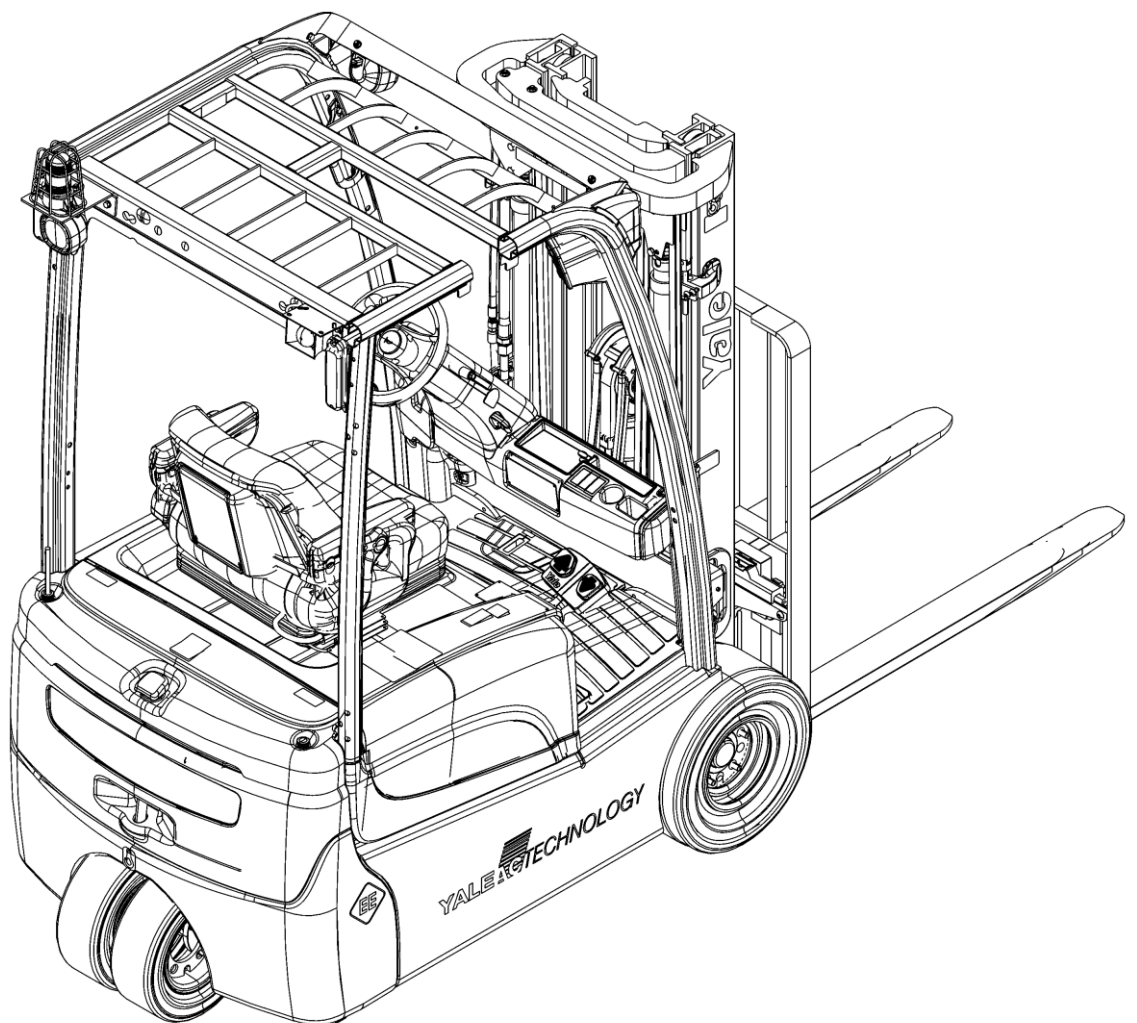
MODELO	EQUIPO	CANTIDAD	FF	IP	ISS	CR	TR	TO	IC
ERP035VT (Planta 1)	MONTACARGAS ELECTRICO	6	2	3	2	3	3	4	 30
ERP035VT (Planta 2)	MONTACARGAS ELECTRICO	13	3	4	2	3	3	4	 48
ERP035VT (Planta 3)	MONTACARGAS ELECTRICO	4	2	3	2	3	3	4	 30
FBR13SZ	APILADOR RETRACTIL	2	2	2	2	2	2	4	 24
GLP18MX	MONTACARGAS DUAL	1	2	1	2	2	2	3	 20
GTP30MX	MONTACARGAS DUAL	1	2	1	2	2	2	3	 20

Fuente: Elaboración Propia

De los valores obtenidos de la Tabla N°4.10 se observa que el modelo de montacargas eléctrico ERP035VT en planta 2, presenta el mayor (IC) con una prioridad alta como se muestra en la Figura N°4.1.

Figura N° 4.1

Montacargas Eléctrico ERP035VT



Fuente: MAQUIPERU SA

Tabla N° 4.11

Equipos de planta 2 – ERP035VT

MODELO	CODIGO	SERIE
ERP035VT	11	G807N10094P
ERP035VT	12	G807N10097P
ERP035VT	13	G807N10084P
ERP035VT	14	G807N10100P
ERP035VT	15	G807N10096P
ERP035VT	16	G807N10102P
ERP035VT	17	G807N10088P
ERP035VT	18	G807N10098P
ERP035VT	19	G807N10085P
ERP035VT	20	G807N10099P
ERP035VT	21	G807N10090P
ERP035VT	22	G807N10095P
ERP035VT	23	G807N10426R

Fuente: MAQUIPERU SA

En la Tabla N°4.11 se aprecian el listado de los montacargas eléctricos de la planta 2 con sus respectivos códigos de identificación y series, los cuales serán analizados uno a uno con parámetros de confiabilidad con el único fin de mejorar o mantener una disponibilidad alta en estos equipos, considerando que esta operación es crítica según se muestra en la Tabla N°4.10.

4.6.1. Indicadores de mantenimiento de los equipos en el año 2017

En la presente investigación se obtuvieron los valores de disponibilidad considerando los indicadores de gestión de mantenimiento como tiempo promedio entre falla (MTBF) y tiempo promedio para reparar (MTTR) de los equipos de uno de los principales clientes de la empresa MAQUIPERU donde la operación crítica es la planta 2 según los análisis de criticidad ya mostrados, la cual contiene 13 equipos como se aprecia en la Tabla N°4.11.

Tabla N° 4.12

Disponibilidad de equipos - 2017

CODIGO	Año 2017					
	CANTIDAD DE FALLAS	Horas de trabajo	Horas de parada por mantenimiento NO planificado	MTTR	MTBF	Disponibilidad
Yale 11	5	3545	106	21.20	736.69	97.10%
Yale 12	4	3249	174	43.50	331.33	94.92%
Yale 13	5	3485	169	33.80	567.99	95.37%
Yale 14	5	3270	222	44.40	783.15	93.64%
Yale 15	4	3249	151	37.75	707.11	95.56%
Yale 16	8	2770	789	98.63	432.77	77.83%
Yale 17	5	2650	275	55.00	373.16	90.60%
Yale 18	4	3413	229	57.25	691.83	93.71%
Yale 19	5	3772	104	20.80	782.80	97.32%
Yale 20	5	3415	74	14.80	885.27	97.88%
Yale 21	6	2866	484	80.67	598.01	85.55%
Yale 22	5	3330	60	12.00	674.47	98.23%
Yale 23	3	2746	368	122.67	1071.48	88.18%
Promedio				49.42	664.31	92.76%

Fuente: Elaboración Propia

Considerando que estos equipos entraron en operación en el mes de julio del 2017, observamos en la Tabla N°4.12 la cantidad de fallas por equipo, la cantidad de horas trabajadas durante los 6 meses de operación en el año 2017, también se muestran los valores del MTTR, MTBF y disponibilidad de cada uno de estos equipos.

A si mismo se puede observar equipos hasta con 8 fallas que dejan estos equipos inoperativos, esto debido a que los planes de mantenimiento de estos equipos no se respetaban por motivos de alta producción, provocando que las fallas de estos equipos pueden ser tan críticas que logran disminuir la disponibilidad del equipo en hasta un 77.83% como se observa en la Tabla N°4.12, teniendo como resultado confiabilidad baja y una disminución de la producción en la planta 2.

4.6.2. Indicadores de mantenimiento de los equipos en el año 2018

En un caso similar en la Tabla N°4.13 se evaluaron la disponibilidad de los equipos en el año 2018, sin embargo, para este periodo de tiempo se consideró enviar un equipo de Backup de las mismas características el cual apoyaría para que se respeten los mantenimientos de estos equipos según lo indicado por el fabricante, encontrándose que la cantidad de falla de estos equipos oscilan entre las 5 a 8 y las paradas de equipos por mantenimientos no planificados de 163 hasta 832 horas, aumentando la disponibilidad promedio de los equipos del año 2017 al 2018 de 92.76% a 93.88%.

Tabla N° 4.13

Disponibilidad de equipos – 2018

CODIGO	Año 2018					
	CANTIDAD DE FALLAS	Horas de trabajo	Horas de parada por mantenimiento NO planificado	MTTR	MTBF	Disponibilidad
Yale 11	5	4769	163	32.60	950.76	96.70%
Yale 12	5	5021	456	91.20	891.79	91.67%
Yale 13	6	5372	314	52.33	861.81	94.48%
Yale 14	6	5657	202	33.67	757.25	96.55%
Yale 15	5	5410	289	57.80	900.87	94.93%
Yale 16	5	4430	407	81.40	818.58	91.59%
Yale 17	5	5450	832	166.40	1155.67	86.76%
Yale 18	7	4782	405	57.86	630.17	92.19%
Yale 19	8	5589	216	27.00	688.65	96.28%
Yale 20	6	5335	217	36.17	706.79	96.09%
Yale 21	5	4934	308	61.60	943.02	94.12%
Yale 22	5	4647	384	76.80	933.87	92.37%
Yale 23	6	5014	168	28.00	897.77	96.76%
Promedio				61.76	856.69	93.88%

Fuente: Elaboración Propia

En ambos periodos 2017 y 2018 se trabajaron con un mantenimiento básico planteado por fábrica como se muestra en la Tabla N°4.14.

Se encontraron fallas que dejaban inoperativos a los equipos hasta en 832 horas en el periodo (2017-2018), para lo cual se realizó un estudio de análisis de modo

y efecto de fallas (Tabla N°4.15), con el fin de disminuir las horas de paradas por mantenimientos NO planificados y aumentar la disponibilidad.

Tabla N° 4.14

Plan de mantenimiento (Año 2017 - 2018)

PLAN DE MANTENIMIENTO		
Item	CADA 500 HORAS DE SERVICIO	
1	Engrase de equipo	Grasa SIG 3000
2	Agua destilada para batería	Bidon 5 GL
3	Limpieza de contactos eléctricos	Limpia contacto Elec. WURTH
4	Laca protectora	Lac. Protectora Oxido SL
5	Lubricación de cadenas	Grasa Líquida Spray de Cadena HHS 2000 WURTH
CADA 2000 HORAS DE SERVICIO		
6	Cambio de filtro de Aceite hidráulico	Filtro de tanque Hidráulico (ERP035/040VT)
7	Cambio de líquido de freno	WURTH Dot 4 - 250 ml
8	Cambio de aceite hidráulico	Aceite 68W (5.8 Gln)
9	Deposito del cilindro maestro (0.25L)	250 mL
10	Cambio de tapa respiradero	Breather Tank (ERP035/040VT)
11	Transeje (Cambio de aceite Lt.)	Aceite dexron III (0.6 lt).

Fuente: MAQUIPERU SA

4.6.3. Análisis de modo y efecto de falla en el periodo 2017-2018

Se evaluaron las fallas de estos equipos encontrándose llantas en mal estado, cañerías con fuga de aceite, abrazaderas de pistón hidráulico rotas, timón de dirección suelto, transmisiones dañadas.

En la Tabla N°4.12 se observa que las fallas que necesitan mayor atención son las (F-08), (F-09), que pertenecen a la transmisión del equipo para lo cual aplicaremos estudios de confiabilidad.

También se analizarán las fallas menores como son (F-03) y (F-11) que hacen referencia a abrazadera del pistón central y faros del equipo respectivamente.

Tabla N° 4.15

AMEF – Montacargas ERP035VT

Codido de falla	Pieza	Función que desempeña	Modelo de fallo potencial	Efectos potenciales de fallo	Causas potenciales de fallo	Controles actuales	Gravedad	Ocurrencia	No Detección	NPR
							G	O	D	
F-01	Llanta posterior	Genera dirección en el montacargas en el traslado.	Rajadura prematura de la llanta.	Inestabilidad en el traslado	Pizos en mal estado	Inspección visual	6	5	3	90
F-02	Cañería de pistón central	Realiza el paso de aceite para accionamiento del pistón central en el mástil	Rajadura de cañería	Fuga de aceite hidráulico.	Golpe de cañería en operación.	Correctivo / Inspección visual	7	4	6	168
F-03	Abrazadera del pistón central	Sujeta el pistón central al cuerpo del mástil.	Pistón central flojo	Rotura de abrazadera	Ajuste de pernos de abrazadera.	Correctivo/ cambio de abrazadera	7	6	5	210
F-04			Desprendimiento del piston central	Caida de la carga en operación.	Abrazadera rota	Correctivo	10	1	2	20
F-05			Ruido al accionar la elevación del mástil	Rayaduras en el pistón central	Abrazadera rota atascada.	Correctivo	7	6	3	126
F-06	Soporte del timón	Mantiene el timón en una posición fija.	Timón de equipo suelto	No permite maniobrar el giro en el equipo	Gas spring vencido	Correctivo	7	7	3	147
F-07					Pernos Pivot y bocinas en mal estado	Correctivo	7	7	3	147
F-08	Transmisión	Transmite potencia mecánica a las ruedas, la cual realiza el desplazamiento en el equipo.	Sonido en el traslado	Inestabilidad en el traslado	Rodaje interior y piezas internas dañadas	Correctivo/ Cambio de transeje	10	6	9	540
F-09			Fuga de aceite	Rastros de aceite en el traslado del equipo	Sellos internos con desgaste.	Correctivo	10	6	9	540
F-10	Faros	Ilumina zona de trabajo al momento de desplazarse el equipo	Luces delanteras o posteriores no encienden	No permite operar el equipo en espacios sin luz.	Foco quemado	Correctivo/ cambio de foco	6	7	4	168
F-11			luces de equipo no prenden		Fulsible en mal estado	Correctivo/ Cambio de fusible	6	6	6	216
F-12					Convertidor con falla	Correctivo / Cambio de convertidor	7	5	3	105

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 4.16

NRP – Según código de falla

	Gravedad	Ocurrencia	No Detección	
Código de falla	G	O	D	NPR
F-01	6	5	3	90
F-02	7	4	6	168
F-03	7	6	5	210
F-04	10	1	2	20
F-05	7	6	3	126
F-06	7	7	3	147
F-07	7	7	3	147
F-08	10	6	9	540
F-09	10	6	9	540
F-10	6	7	4	168
F-11	6	6	6	216
F-12	7	5	3	105

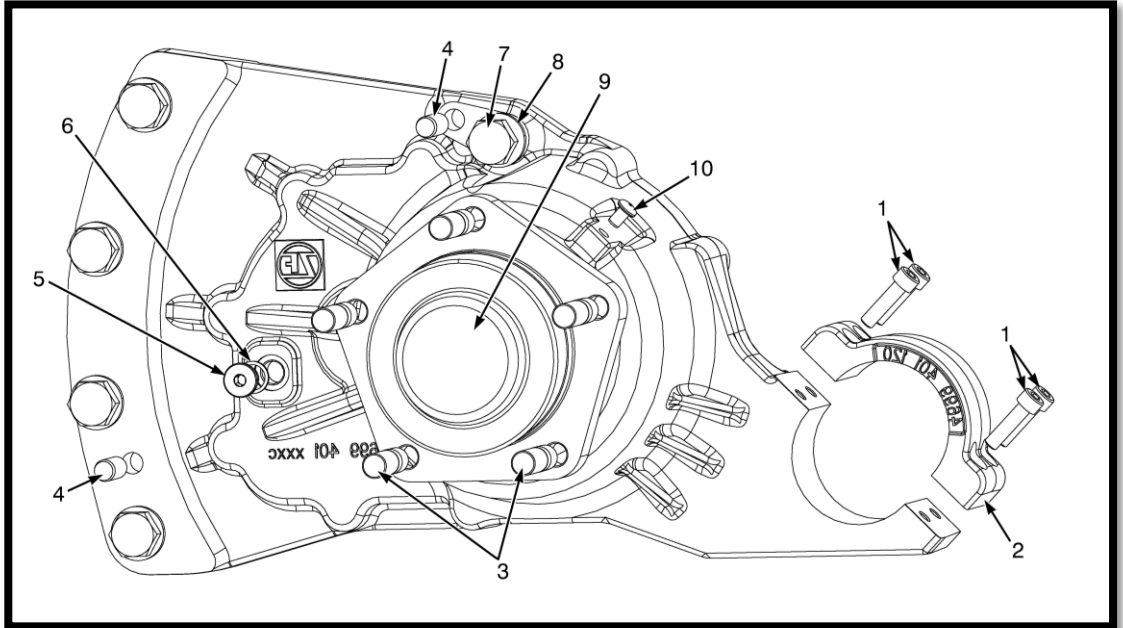
Fuente: Elaboración Propia

4.6.4. Análisis de falla y costos de reparación en la transmisión.

Según el plan de mantenimiento de la Tabla N°4.14 a este componente Figura N°4.3 se le realiza un cambio de aceite cada 2000 horas, sin embargo, no contempla un mantenimiento a los componentes internos del mismo, teniendo en cuenta que al presentarse una falla en la transmisión del montacargas eléctrico puede ser por una fuga de aceite por falla de los sellos internos o una falla mayor que implica la destrucción de los componentes internos por falta de engrase en un rodaje que va al interior de la transmisión, el cual no presenta un punto de engrase en el exterior de la transmisión, por tanto para engrasar este rodaje se tiene que desarmar la transmisión completa.

Figura N° 4.2

Sistema de Transmisión



Fuente: MAQUIPERU SA

Analizando los costos de reparación según la Tabla N°4.17 se obtiene que el cambio de transmisión por daños nos demanda un gasto de \$13,774.84 por equipo con 485 hr de inoperatividad, considerando que el tiempo de importación del componente es de 30 días, 5 horas hombre de trabajo y la penalidad por inoperatividad de equipo, asimismo el mantenimiento del componente antes de que ocurra la falla genera un costo en reparación de \$992.90 por equipo con 32 horas de inoperatividad, considerando compra de repuestos locales (sellos y grasa), costo de penalidad por inoperatividad y 16 horas hombre de trabajo.

Tabla N°4.17

Costo de mantenimiento - transmisión

Item	Repuestos	Costos de repuestos	Tiempo de importación (Días)	Hras. Hombre	Costo de Horas Hombre	Hras. De parada de equipo.	Penalidad por inoperatividad de equipo	Costo total de Reparación
1	Transmisión	\$4,617.42	30	5	\$175.00	485	\$ 4,365.00	\$ 13,774.84
2	Retenes, sellos, grasa especial.	\$ 72.45	1	16	\$560.00	32	\$ 288.00	\$ 992.90

Fuente: Elaboración Propia

Se evidencia claramente que el costo de reparación cambiando la transmisión completa por daños internos a falta de engrase es mayor en \$12,781.94 a la reparación de la transmisión cambiando sellos y grasa a los componentes internos.

- Cálculo del MTBF

Se decidió analizar esta falla en la transmisión del montacargas mediante la distribución de Weibull, con el fin de hallar el MTBF y establecerle un programa de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad.

Tabla N° 4.18

Análisis del MTBF – Sistema de Transmisión

Calculo de parametros Weibull								
i	ti	Linea media % acum falla	$Y = \ln(\ln(1/(1-f(t))))$	$\ln(ti)$	$(\ln(ti)-X)^2$	$b-\ln(ti)*\beta$	$Y-b-\ln(ti)*\beta$	$(Y-b-\ln(ti)*\beta)^2$
1	2598	14%	-1.87	7.86	69.41	-2.01	0.14	0.02
2	3808	29%	-1.09	8.24	75.93	-0.98	-0.11	0.01
3	4726	43%	-0.58	8.46	79.74	-0.40	-0.18	0.03
4	5338	57%	-0.17	8.58	81.93	-0.07	-0.09	0.01
5	6031	71%	0.23	8.70	84.16	0.25	-0.03	0.00
6	6364	86%	0.67	8.76	85.15	0.40	0.27	0.07
Total Suma			-2.81	50.61	476.32	-2.81	0.00	0.14

Fuente: Elaboración Propia

Aplicando la distribución de Weibull en hoja de cálculo de Excel obtenemos los siguientes parámetros y valores.

$\beta =$	2.690
$b =$	-23.157
$\eta =$	5486.465
$\gamma =$	0.000
$R(t) =$	98.3%
MTBF:	4878.376

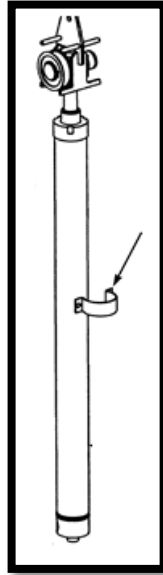
Se obtuvo que el MTBF fue de 4878.38 hr, teniendo en cuenta que el cambio de aceite para este componente es cada 2000 hr según el fabricante, considerando que el tiempo medio entre fallas está cerca al mantenimiento de 4000 horas, se aprovecharía en programar solo una parada de equipo estableciendo el mantenimiento de transmisión sea cada 4000 horas. En este nuevo plan se indica que a las 4000 horas de trabajo es necesario realizar el cambio de sellos en la transmisión, donde se mencionan las calidades de sellos y el tipo de grasa a utilizar, teniendo en cuenta que a las 4000 horas también se realizan los servicios de mantenimiento de 500 y 2000 horas respectivamente, el equipo solo estaría parado por mantenimiento preventivo, siendo este equipo reemplazado por un equipo de RETEN, no afectando la producción de nuestro cliente y sin generar penalidades.

4.6.5. Análisis de falla y costos de abrazadera de pistón central

Otras fallas que se menciona en la Tabla N°4.16 es la de la abrazadera del pistón central de estos equipos, para lo cual realizaremos un análisis de confiabilidad.

Figura N° 4.3

Abrazadera de pistón central



Fuente: MAQUIPERU SA

Analizando los costos de reparación o cambio de este repuesto según se muestra en Tabla 4.19, al realizar ese cambio de abrazadera del pistón central por falla, el costo que genera es de \$ 204.50 si es que no prevenimos esa falla, considerando que no se tiene un stock y que en este costo se considera el de penalidad por inoperatividad de equipo.

Tabla N° 4.19

Costos – Abrazadera de pistón central

Item	Repuestos	Costos de repuestos	Tiempo de fabricación (Días)	Hras. Hombre	Costo de Horas Hombre	Hras. De parada de equipo.	Penalidad por inoperatividad de equipo	Costo total de Reparación
1	Abrazadera	\$ 25.00	1	0.5	\$ 17.50	18	\$ 162.00	\$ 204.50

Fuente: Elaboración Propia

- Cálculo del MTBF

En la Tabla N°4.19, encontramos las horas de fallas analizadas en hoja de cálculo de Excel mediante la distribución de Weibull, con el fin de encontrar el MTBF.

Tabla N° 4.20

Análisis del MTBF – Abrazadera de pistón central

Calculo de parametros Weibull								
i	ti	Linea media % acum falla	$Y = \ln(\ln(1/(1-f(t))))$	$\ln(ti)$	$(\ln(ti)-X)^2$	$b-\ln(ti)*\beta$	$Y-b-\ln(ti)*\beta$	$(Y-b-\ln(ti)*\beta)^2$
1	1790	25%	-1.25	7.49	62.70	-1.08	-0.16	0.03
2	2039	50%	-0.37	7.62	64.78	-0.60	0.24	0.06
3	2679	75%	0.33	7.89	69.25	0.40	-0.08	0.01
Total Suma			-1.29	23.00	196.74	-1.29	0.00	0.09

Fuente: Elaboración Propia

β =	3.691
b =	-28.732
η =	2401.641
γ =	0.000
R(t) =	96.4%
MTBF:	2167.085

Se tiene un valor del MTBF de 2167.08 Horas, con una confiabilidad del 96.4%, con el fin de prevenir esta falla se realizará una inspección y/o cambio cada 2000 Horas considerando que el equipo para a esas horas para su mantenimiento preventivo correspondiente según lo indicado por fábrica, por lo tanto, ya no se condirá el costo de inoperatividad de máquina como se indica en la Tabla N°4.19 y solo estaríamos considerando el costo del componente el cual se reduce solo a \$25.00.

V. RESULTADOS

5.1. Resultados Descriptivos

- Sistema de Transmisión

TABLA N° 5.1

ANÁLISIS DEL MTBF – SISTEMA DE TRANSMISIÓN

Calculo de parametros Weibull								
i	ti	Linea media % acum falla	$Y = \ln(\ln(1/(1-f(t))))$	$\ln(ti)$	$(\ln(ti)-X)^2$	$b-\ln(ti)*\beta$	$Y-b-\ln(ti)*\beta$	$(Y-b-\ln(ti)*\beta)^2$
1	2598	14%	-1.87	7.86	69.41	-2.01	0.14	0.02
2	3808	29%	-1.09	8.24	75.93	-0.98	-0.11	0.01
3	4726	43%	-0.58	8.46	79.74	-0.40	-0.18	0.03
4	5338	57%	-0.17	8.58	81.93	-0.07	-0.09	0.01
5	6031	71%	0.23	8.70	84.16	0.25	-0.03	0.00
6	6364	86%	0.67	8.76	85.15	0.40	0.27	0.07
Total Suma			-2.81	50.61	476.32	-2.81	0.00	0.14

Fuente: Elaboración Propia

Valores obtenidos en Excel:

$\beta =$	2.690
$b =$	-23.157
$\eta =$	5486.465
$\gamma =$	0.000
$R(t) =$	98.3%
MTBF:	4878.376

- Abrazadera del pistón central

TABLA N° 5.2

ANÁLISIS DEL MTBF – ABRAZADERA DE PISTÓN CENTRAL

Calculo de parametros Weibull								
i	ti	Linea media % acum falla	$Y = \ln(\ln(1/(1-f(t))))$	$\ln(ti)$	$(\ln(ti)-X)^2$	$b-\ln(ti)*\beta$	$Y-b-\ln(ti)*\beta$	$(Y-b-\ln(ti)*\beta)^2$
1	1790	25%	-1.25	7.49	62.70	-1.08	-0.16	0.03
2	2039	50%	-0.37	7.62	64.78	-0.60	0.24	0.06
3	2679	75%	0.33	7.89	69.25	0.40	-0.08	0.01
Total Suma			-1.29	23.00	196.74	-1.29	0.00	0.09

Fuente: Elaboración Propia

Valores obtenidos en Excel:

$\beta =$	3.691
b =	-28.732
$\eta =$	2401.641
$\gamma =$	0.000
R(t) =	96.4%
MTBF:	2167.085

5.2. Resultados Inferenciales

- Del sistema de transmisión se obtuvo que el valor del MTBF de la Tabla N°4.18 fue de 4878.38 hr, considerando que el cambio de aceite para este componente es cada 2000 hr según el fabricante, y teniendo en cuenta que el tiempo medio entre fallas está cerca al mantenimiento de 4000 horas, se programó solo una parada de equipo estableciendo el mantenimiento de transmisión se realice cada 4000 horas.
- El valor del MTBF obtenido de la Tabla N°4.20 fue de 4878.38 hr, de 2167.08 Horas, con una confiabilidad del 96.4%, con el fin de prevenir esta falla se realizará una inspección y/o cambio cada 2000 Horas considerando que el equipo para a esas horas para su mantenimiento preventivo correspondiente según lo indicado por fábrica, por lo tanto, ya no se condirá el costo de inoperatividad de máquina como se indica en la Tabla N°4.19 y solo estaríamos considerando el costo del componente el cual se reduce solo a \$25.00

5.3. Otro tipo de resultados estadísticos, de acuerdo a la naturaleza del problema y la Hipótesis.

- Se incrementó el tiempo entre fallas de estos equipos de la planta 2 en el periodo del año 2019, considerando que se trabajó con el plan de mantenimiento propuesto en la Tabla N°5.3 para llegar a esos resultados.

- Respetando los tiempos de mantenimiento establecidos en la Tabla N°5.3 en coordinación con nuestro cliente se logró reducir la cantidad de fallas de estos equipos por mes, así mismo estas fallas que se presentaron en este periodo se consideran fallas menores debido a que no implicaban mucho tiempo de reparación comparando con los tiempos de reparación en el periodo 2017-2018.
- Se diseñó un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad, en este nuevo plan se consideró Tabla N°5.3 se consideró una de las fallas críticas que disminuían la disponibilidad en estos equipos y generaba perdidas de dinero considerables a la empresa, a su vez disconformidad en nuestro cliente.

Tabla N° 5.3

Plan de mantenimiento centrado en confiabilidad

PLAN DE MANTENIMIENTO (Centrado en confiabilidad)		
CADA 500 HORAS DE SERVICIO		
1	Engrase de equipo	Grasa SIG 3000
2	Agua destilada para batería	Bidon 5 GL
3	Limpieza de contactos eléctricos	Limpia contacto Elec. WURTH
4	Laca protectora	Lac. Protectora Oxido SL
5	Lubricación de cadenas	Grasa Liquida Spray de Cadena HHS 2000 WURTH
CADA 2000 HORAS DE SERVICIO		
6	Cambio de filtro de Aceite hidraulico	Filtro de tanque Hidraulico (ERP035/040VT)
7	Cambio de liquido de freno	WURTH Dot 4 - 250 ml
8	Cambio de aceite hidraulico	Aceite 68W (5.8 Gln)
9	Deposito del cilindro maestro (0.25L)	250 mL
10	Cambio de tapa respiradero	Breather Tank (ERP035/040VT)
11	Cambio de abrazadera de pistón central	Verificar y cambiar de ser necesario
12	Cambio de focos	Cambio de focos delanteros y posteriores.
13	Transeje (Cambio de aceite Lt.)	Dexron III
CADA 4000 HORAS DE SERVICIO		
14	Cambio de sellos (Transmisiones LH, RH)	O'ring de nitrilo, Retenes de Viton
15	Cambio de grasa de rodaje de transmisión	Grasa de tubo WURTH

Fuente: Elaboración Propia

- Al reducir la cantidad de fallas de los equipos de planta 2, y aumentar el MTBF de los mismos en el periodo 2019 se logró reducir considerablemente los costos de mantenimientos por paradas no planificadas, sin embargo, aumentaron los costos del mantenimiento preventivo, al realizar un comparativo entre el aumento del costo del mantenimiento preventivo de la Tabla N°5.1 y el costo implicaría el no realizarlo y mantener el antiguo plan de la Tabla N°4.14, se observa mediante la Tabla N°4.17 que el costo sería mucho mayor, por esa razón realizando este nuevo plan se redujeron los costos de mantenimiento de los equipos de planta 2.

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

Disponibilidad de equipos

En la Tabla 6.1 observamos los resultados de disponibilidad en los equipos que pertenecen a la planta 2 de uno de los principales clientes de la empresa MAQUIPERU, considerándose los periodos del año 2017 al 2019, donde encontramos que los valores de disponibilidad promedio de estos equipos aumentaron desde el 92.76% en el periodo 2017, hasta el 97.98% en el periodo 2019.

Tabla N° 6.1

Disponibilidad de equipos planta 2– periodo del año 2017 al 2019

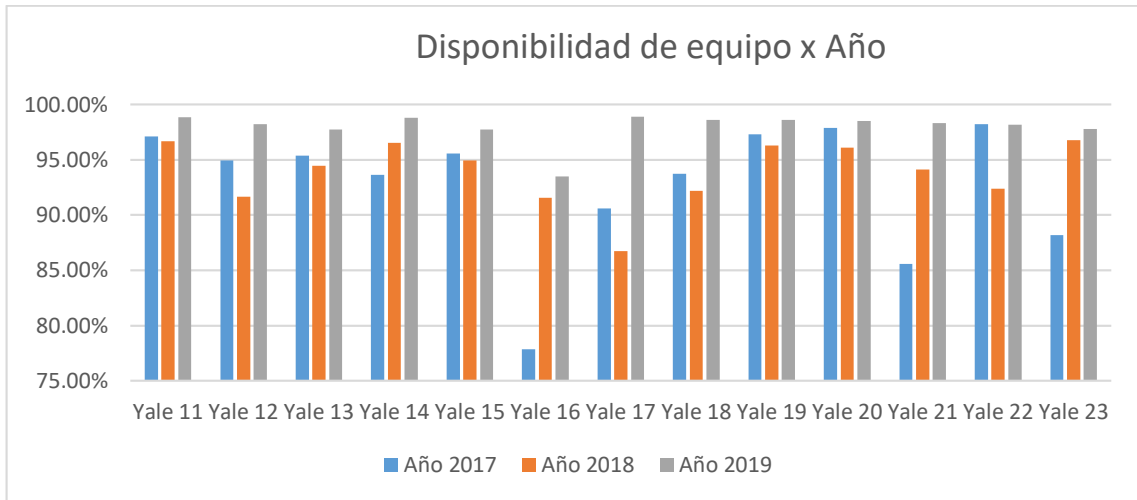
CODIGO	Disponibilidad		
	Año 2017	Año 2018	Año 2019
Yale 11	97.10%	96.70%	98.86%
Yale 12	94.92%	91.67%	98.20%
Yale 13	95.37%	94.48%	97.74%
Yale 14	93.64%	96.55%	98.79%
Yale 15	95.56%	94.93%	97.73%
Yale 16	77.83%	91.59%	93.50%
Yale 17	90.60%	86.76%	98.91%
Yale 18	93.71%	92.19%	98.60%
Yale 19	97.32%	96.28%	98.63%
Yale 20	97.88%	96.09%	98.50%
Yale 21	85.55%	94.12%	98.34%
Yale 22	98.23%	92.37%	98.19%
Yale 23	88.18%	96.76%	97.78%
	92.76%	93.88%	97.98%

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura N°6.1 observamos la variación de los valores de disponibilidad de cada equipo en los años 2017, 2018 y 2019 respectivamente, evidenciando una mejora en la disponibilidad de estos equipos en el año 2019.

Figura N° 6.1

Disponibilidad de equipo por año



Fuente: Elaboración Propia

MTBF de equipos

Luego de ejecutar el plan de mantenimiento indicando en la Tabla N°5.1 se logró aumentar el tiempo promedio de entre falla (MTBF) en estos equipos como se muestra en la Tabla N°6.2, donde los valores promedios de MTBF aumentaron de 664.31 Horas en el periodo 2017 a 1400.83 horas en el periodo 2019.

En la Figura N°6.2 observamos la variación de los valores del MTBF en cada equipo en los años 2017, 2018 y 2019 respectivamente, evidenciando el aumento del MTBF de estos equipos en el año 2019.

Tabla N° 6.2

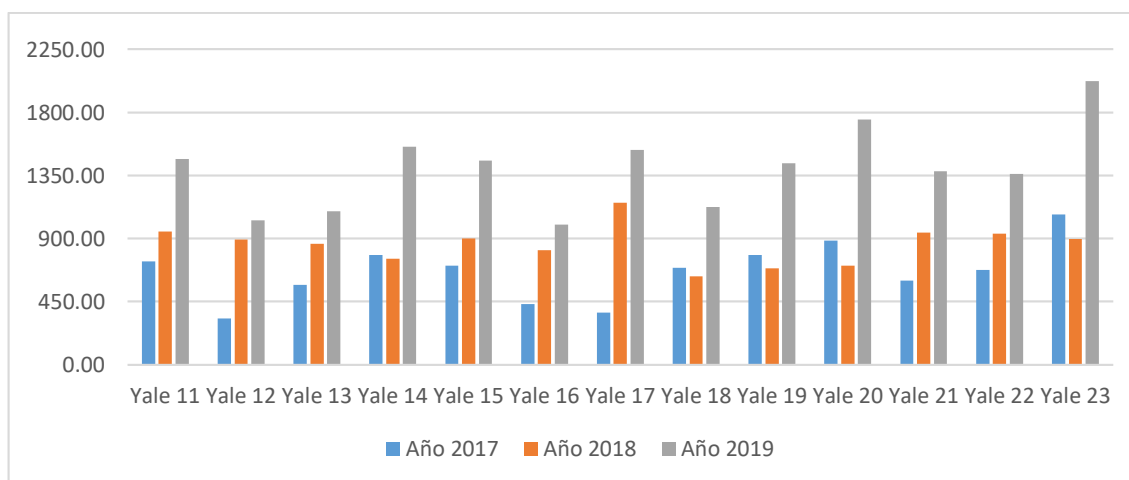
MTBF de equipos planta 2 – Periodo del año 2017 al 2019

CODIGO	MTBF		
	Año 2017	Año 2018	Año 2019
Yale 11	736.69	950.76	1467.29
Yale 12	331.33	891.79	1031.61
Yale 13	567.99	861.81	1094.28
Yale 14	783.15	757.25	1553.63
Yale 15	707.11	900.87	1455.07
Yale 16	432.77	818.58	998.15
Yale 17	373.16	1155.67	1533.37
Yale 18	691.83	630.17	1126.38
Yale 19	782.80	688.65	1436.44
Yale 20	885.27	706.79	1750.81
Yale 21	598.01	943.02	1379.78
Yale 22	674.47	933.87	1360.15
Yale 23	1071.48	897.77	2023.85
	664.31	856.69	1400.83

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 6.2

Tiempo medio entre falla (MTBF) por año



Fuente: Elaboración Propia

MTTR de equipos

En la Tabla N°6.3 se muestran los valores obtenidos del tiempo promedio para reparar (MTTR), en el cual podemos observar que los valores promedios disminuyeron con respecto al año 2018 de 61.76 Horas a 26.19 horas en el año 2019.

Tabla N° 6.3

MTTR de equipos planta 2 - Periodo del año 2017 al 2019

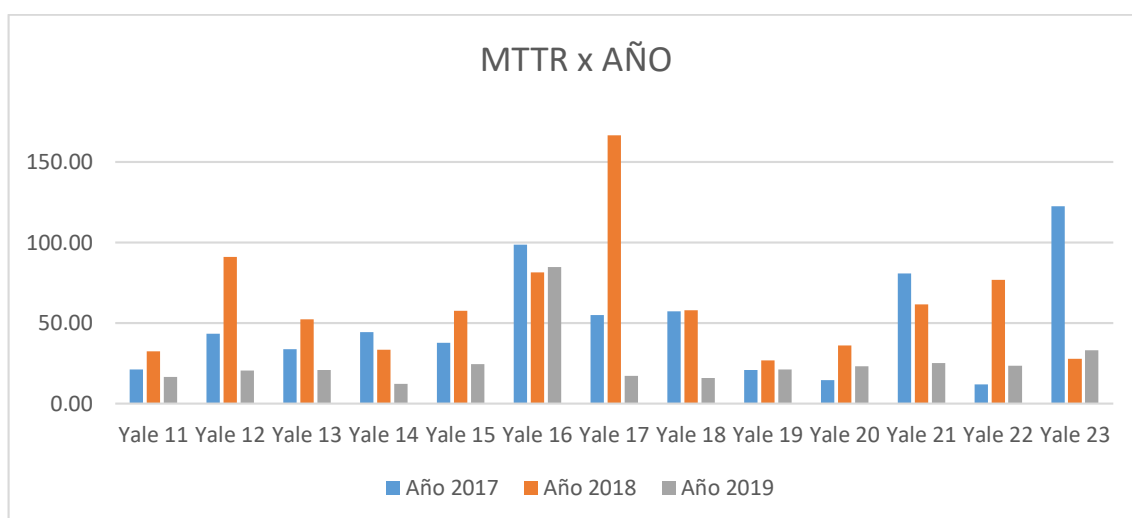
CODIGO	MTTR		
	Año 2017	Año 2018	Año 2019
Yale 11	21.20	32.60	16.67
Yale 12	43.50	91.20	20.67
Yale 13	33.80	52.33	21.00
Yale 14	44.40	33.67	12.50
Yale 15	37.75	57.80	24.67
Yale 16	98.63	81.40	84.67
Yale 17	55.00	166.40	17.33
Yale 18	57.25	57.86	16.00
Yale 19	20.80	27.00	21.33
Yale 20	14.80	36.17	23.33
Yale 21	80.67	61.60	25.33
Yale 22	12.00	76.80	23.67
Yale 23	122.67	28.00	33.33
	49.42	61.76	26.19

Fuente: Elaboración Propia

Logramos ver la disminución del MTTR de estos equipos estudiados de la planta 2 en la Figura N°6.3, también se observa que el máximo valor fue de 166.4 horas del equipo Yale 17 en el año 2018, el cual fue reducido hasta 17.33 horas en el año 2019.

Figura N° 6.3

Tiempo medio para reparar (MTTR) por año



Fuente: Elaboración Propia

Costo de mantenimiento

Para este nuevo plan de mantenimiento Tabla N°5.1 se consideró una de las fallas críticas que disminuían la disponibilidad en estos equipos, generando pérdidas de dinero considerables a la empresa y disconformidad en nuestro cliente por el tiempo de inoperatividad de máquina.

Tabla N° 6.4

Costos del mantenimiento de la transmisión del equipo

Item	Repuestos	Costos de repuestos	Tiempo de importación (Días)	Hras. Hombre	Costo de Horas Hombre	Hras. De parada de equipo.	Penalidad por inoperatividad de equipo	Costo total de Reparación
1	Transmisión	\$4,617.42	30	5	\$ 175.00	485	\$ 4,365.00	\$ 13,774.84
2	Retenes, sellos, grasa especial.	\$ 72.45	1	16	\$ 560.00	32	\$ -	\$ 704.90

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla N°6.4 se muestran los costos por cambio y reparación del componente antes de la falla, considerando que se no se realice este plan de mantenimiento preventivo el costo por cambio transmisiones ascendería hasta los \$13,774.84 por equipo, teniendo en cuenta el tiempo de parada por el repuesto en importación, considerando el plan de mantenimiento para este componente se reducirían considerablemente los costos hasta \$704.90 por cada equipo, obteniéndose un ahorro de \$13,069.94 por equipo, considerando que esta falla ocurrió en 3 equipos y se reemplazaron las transmisiones a causa de que estos componentes no podían ser reparados, teniendo en cuenta que son 13 equipos en operación en la planta 2, estarían pendientes 10 equipos, por lo tanto el ahorro total asciende a \$130,699.40 al no cambiar el componente completo y aplicando este nuevo plan de mantenimiento centrado en confiabilidad como se indica en la Tabla N°5.1.

Tabla N° 6.5

Costos por cambio de abrazadera de pistón central y focos

Item	Repuestos	Costos de repuestos	Tiempo de fabricación (Días)	Hras. Hombre	Costo de Horas Hombre	Hras. De parada de equipo.	Penalidad por inoperatividad de equipo	Costo total de Reparación
1	Abrazadera	\$ 25.00	1	0.5	\$ 17.50	-	-	\$ 42.50
2	Focos (3 und)	\$ 9.00	1	0.25	\$ 8.75	-	-	\$ 17.75

Fuente: Elaboración Propia

Considerando que estos cambios se están programando preventivamente ya no se consideran costos de penalidad por inoperatividad de quipos, como se indica en las Tabla N°6.4 y Tabla N°6.5.

Tabla N° 6.6

Cuadro de costos de mantenimiento preventivo al inicio de la investigación

	CANTIDAD	HORAS DE FUNCIONAMIENTO ENTRE CADA SERVICIO								TOTAL	US \$ UNIT.	US \$ TOTAL
		500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000			
FILTROS												
Cambio de filtro de aceite Hidráulico	1				1				1	2	96.98	193.96
PRECIO DE FILTROS		0.00	0.00	0.00	96.98	0.00	0.00	0.00	96.98	193.96		193.96
ACEITES Y GRASAS												
Líquido de Freno	1				1				1	2	25.00	50.00
Aceite de Hidráulico (68w)	5.8 GLN				5.8				5.8	11.6	15.10	175.16
Tubo de Grasa	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8	30.00	240.00
PRECIO DE ACEITES		30.00	30.00	30.00	142.58	30.00	30.00	30.00	142.58	465.16		465.16
SOLVENTES Y LIQUIDOS												
Agua destilada (Electrolito) Envase SGL	*	1	1	1	1	1	1	1	1	8	13.91	111.28
PRECIO DE SOLVENTES		13.91	13.91	13.91	13.91	13.91	13.91	13.91	13.91	111.28		111.28
OTROS ELEMENTOS												
Deposito del cilindro maestro (0.25 Gln)	0.25 GLN				0.25				0.25	0.5	54.00	27.00
Cambio de tapa del respiradero	1				1				1	2	55.57	111.14
Limpia contacto	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8	22.75	182.00
Laca Protectora	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8	27.77	222.16
Lubricante de cadena	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8	30.00	240.00
TOTAL OTROS GASTOS		80.52	80.52	80.52	149.59	80.52	80.52	80.52	149.59	782.30		782.30
MANO DE OBRA Hrs		2	2	2	4	2	2	2	4	20	35.00	700.00
MANO DE OBRA		70	70	70	140	70	70	70	140	700		700.00
TRASLADO Y MATERIALES (\$)		25	25	25	25	25	25	25	25			200.00
TOTAL GENERAL		219.43	219.43	219.43	568.06	219.43	219.43	219.43	568.06			2,452.70

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 6.7

Cuadro de costos de mantenimiento al término de la investigación

	CANTIDAD	HORAS DE FUNCIONAMIENTO ENTRE CADA SERVICIO								TOTAL	US \$ UNIT.	US \$ TOTAL
		500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000			
FILTROS												
Cambio de filtro de aceite Hidráulico	1				1				1	2	96.98	193.96
PRECIO DE FILTROS		0.00	0.00	0.00	96.98	0.00	0.00	0.00	96.98	193.96		193.96
ACEITES Y GRASAS												
Líquido de Freno	1				1				1	2	25.00	50.00
Aceite de Hidráulico (68w)	5.8 GLN				5.8				5.8	11.6	15.10	175.16
Tubo de Grasa	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8	30.00	240.00
PRECIO DE ACEITES		30.00	30.00	30.00	142.58	30.00	30.00	30.00	142.58	465.16		465.16
SOLVENTES Y LIQUIDOS												
Agua destilada (Electrolito) Ervase SGL	*	1	1	1	1	1	1	1	1	8	13.91	111.28
PRECIO DE SOLVENTES		13.91	13.91	13.91	13.91	13.91	13.91	13.91	13.91	111.28		111.28
OTROS ELEMENTOS												
Deposito del cilindro maestro (0.25 Gln)	0.25 GLN				0.25				0.25	0.5	54.00	27.00
Cambio de tapa del respiradero	1				1				1	2	55.57	111.14
Limpia contacto	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8	22.75	182.00
Laca Protectora	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8	27.77	222.16
Cambio de Kit de sellos de transeje	1								1	1	72.45	72.45
Engrase de rodaje (Interior de transeje)	1								1	1	30.00	30.00
Abrazadera de pistón central (De ser necesario)	1				1				1	2	15.00	30.00
Focos delanteros y posteriores	4				4				4	8	3.00	24.00
Lubricante de cadena	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8	30.00	240.00
TOTAL OTROS GASTOS		80.52	80.52	80.52	176.59	80.52	80.52	80.52	279.04	782.30		938.75
MANO DE OBRA Hrs		2	2	2	4	2	2	2	20	36	35.00	1,260.00
MANO DE OBRA		70	70	70	140	70	70	70	700	1260		1,260.00
TRASLADO Y MATERIALES (\$)		25	25	25	25	25	25	25	25			200.00
TOTAL GENERAL		219.43	219.43	219.43	595.06	219.43	219.43	219.43	1,257.51			3,169.15

Fuente: Elaboración Propia

Los costos de mantenimiento preventivo por cada 4000 horas de trabajo al iniciar esta investigación eran de \$2,452.70 como se muestra en la Tabla N°6.6, al término de esta investigación los costos de mantenimiento preventivo aumentaron hasta \$3,169.15 como se muestra en la Tabla N°6.7.

Sin embargo, al aplicar este plan de mantenimiento centrado en confiabilidad los costos de mantenimiento correctivo se reducen en \$130,903.90 considerando que ya no se reemplazarían las transmisiones completas en estos equipos, y tampoco se cambiarían abrazaderas por fallas, evitando así costos por inoperatividad de equipo.

Tabla N° 6.8

Costo de Mantenimiento Preventivo por Mantenimiento Totales

CODIGO	CPTC		
	Año 2017	Año 2018	Año 2019
Yale 11	72.0%	62.6%	87.6%
Yale 12	61.0%	37.4%	85.0%
Yale 13	61.7%	46.5%	84.8%
Yale 14	55.1%	57.4%	87.6%
Yale 15	64.3%	48.5%	82.6%
Yale 16	25.7%	40.1%	58.1%
Yale 17	49.8%	24.7%	87.1%
Yale 18	54.3%	40.2%	84.6%
Yale 19	72.4%	55.8%	84.6%
Yale 20	78.6%	55.7%	83.4%
Yale 21	36.0%	46.9%	82.2%
Yale 22	82.0%	41.5%	83.2%
Yale 23	42.5%	61.9%	77.9%
	58.1%	47.6%	82.2%

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla N°6.8 se observan los indicadores de costos de mantenimiento preventivo por mantenimientos totales de cada equipo por año, encontrándose que el CPTC promedio en el año 2019 aumenta hasta un 82.2% luego de aplicar el plan de mantenimiento centrado en confiabilidad.

Los resultados de aplicar este nuevo plan de mantenimiento también se ven reflejados en la disminución de cantidad de fallas, encontrándose que la cantidad de fallas promedio por mes de estos equipos se reduce de 0.82 en el periodo 2017 hasta 0.29 en el periodo 2019, según los valores mostrados en la Tabla N°6.9.

Tabla N° 6.9

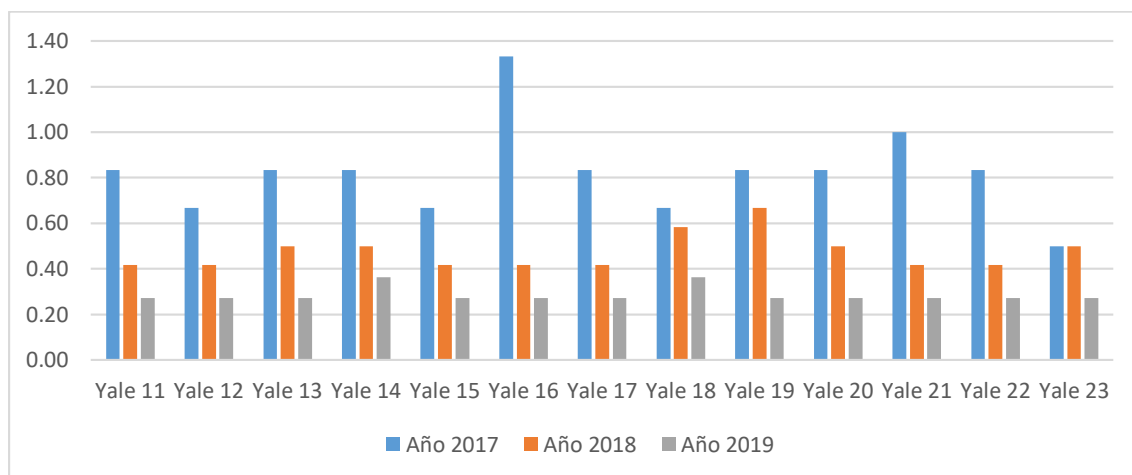
Cantidad de falla por mes - Periodo del año 2017 al 2019

CODIGO	Cantidad de fallas por mes		
	Año 2017	Año 2018	Año 2019
Yale 11	0.83	0.42	0.27
Yale 12	0.67	0.42	0.27
Yale 13	0.83	0.50	0.27
Yale 14	0.83	0.50	0.36
Yale 15	0.67	0.42	0.27
Yale 16	1.33	0.42	0.27
Yale 17	0.83	0.42	0.27
Yale 18	0.67	0.58	0.36
Yale 19	0.83	0.67	0.27
Yale 20	0.83	0.50	0.27
Yale 21	1.00	0.42	0.27
Yale 22	0.83	0.42	0.27
Yale 23	0.50	0.50	0.27
	0.82	0.47	0.29

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura N°6.8 observamos la variación en cantidad de fallas por mes de cada equipo en los años 2017, 2018 y 2019 respectivamente, evidenciando claramente la disminución en la cantidad fallas por mes de estos equipos en el año 2019.

Figura N° 6.4
Cantidad de fallas de equipo por mes



Fuente: Elaboración Propia

6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares

Al igual que la tesis “Plan de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los equipos pesados de la empresa OBRAINSA”, se utilizaron las ordenes de trabajo generadas por los técnicos como recopilación de información, aplicando el uso de indicadores de gestión para cálculos de la disponibilidad, obteniéndose resultados similares en la presente con respecto a la mejora en la disponibilidad de los equipos, aplicando herramientas de confiabilidad.

Tomando como referencia la tesis “Aplicación del mantenimiento centrado en confiabilidad a motores a gas de dos tiempos en pozos de alta producción”, que tiene como objetivo reducir las paradas no programadas se utilizaron herramientas importantes como el análisis de modo y efecto de fallos (AMEF), lo cual llegan definir las fallas más críticas, al igual que el ese estudio logramos analizar mediante un AMEF las fallas más críticas de los equipos que pertenecen a la planta 2 de uno de los principales clientes, seleccionando las que presentaban mayor NPR (Número de prioridad de riesgo), logrando generar con ellas un nuevo plan de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad.

De la tesis “Sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad para motores eléctricos de inducción” nos muestra que en la implementación de RCM al utilizar los indicadores como el MTBF, logra reducir la cantidad de fallas en un periodo determinado de tiempo, logrando una mejor confiabilidad y disponibilidad, caso similar a lo estudiado, donde se logró reducir la cantidad de fallas de los equipos en uno de los principales clientes de la empresa MAQUIPERU luego de aplicar estas herramientas de RCM.

CONCLUSIONES

- El nuevo plan de mantenimiento centrado en confiabilidad permitió aumentar la disponibilidad de los equipos en arriendo de uno de los principales clientes de la empresa MAQUIPERU como se aprecia en la Tabla 6.1, donde también se observa el incremento de la disponibilidad promedio de estos equipos, de 92.76% en el año 2017, hasta el 97.80% en lo que va del año 2019, observándose que la disponibilidad promedio de estos equipos aumenta en 5.04%, logrando alcanzar una disponibilidad máxima en estos equipos de hasta 98.91%, garantizando el cumplimiento de en la producción de nuestro principal cliente, logrando con ello una buena conformidad del servicio brindando.
- Aplicando este nuevo plan de mantenimiento centrado en confiabilidad de la Tabla N°6.1 se logró incrementar el tiempo entre fallos (MTBF) de los equipos que pertenecen a la planta 2, a su vez se verifica que MTBF promedio aumenta de 664.31 horas en el año 2017 a 1400.83 horas en el año 2019, logrando aumentar el MTBF promedio en 736.52 Horas.
- Se logró reducir el MTTR de estos equipos en unos casos de 122.67 horas hasta 33.33 horas, también se concluye que al utilizar este nuevo plan de mantenimiento los valores promedios disminuyen con respecto al año 2018 de 61.76 Horas a 26.19 horas en el año 2019, notándose una clara diferencia en el MTTR promedio de 35.57 horas.
- El cálculo de los costos demuestra que, con el nuevo plan de mantenimiento permite cuantificar una mejora en los costos de mantenimiento de los equipos arrendados de la planta 2. Logrando así reducir los costos de mantenimiento correctivo en el último año, generando un ahorro total de \$130,903.90 en los costos de mantenimientos totales.

RECOMENDACIONES

- Es importante cumplir con el plan de mantenimiento de estos equipos en las horas indicadas como se indica en el estudio realizado, esto con el fin de mantener una buena disponibilidad en estos equipos.
- Se recomienda calcular constantemente el beneficio obtenido mes a mes con lo establecido en el plan de mantenimiento centrado en confiabilidad.
- Es recomendable hacer seguimiento a los indicadores MTBF, MTTR esto con el fin de reducir los costos de mantenimiento, teniendo en cuenta que estos equipos ya cuentan con 15000 horas de trabajo en promedio, y aparecerán nuevas fallas por desgaste de componentes.
- Se recomienda mantener stock de los repuestos que se utilizarán en el mantenimiento preventivo de estos equipos, con la finalidad de cumplir con la programación del plan de mantenimiento establecido en el presente informe, sin necesidad de verse interrumpido el mantenimiento programado por la falta de repuestos, garantizando así una disponibilidad alta en estos equipos arrendados.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- **BURGA, MARTÍN DA COSTA. 2010.** Aplicación del mantenimiento centrado en confiabilidad a motores a gas de dos tiempos EN POZOS DE ALTA PRODUCCIÓN. Lima : Pontificia Universidad Católica del Perú. Tesis.
- **CUATRECASAS ARBÓS, LLUÍS. 2012.** Gestión de mantenimiento de equipos productivos. Madrid : Díaz de Santos. ISBN 978-84-9969-349-1.
- **DÍAZ MATALOBOS, ÁNGEL. 1992.** Confiabilidad en mantenimiento. Caracas : IESA, 1992. pág. 110. 980-271-068-2.
- **DUFFUAA, SALIH O., RAOUF, A. Y DIXON CAMPBELL, JOHN. 2009.** Sistema de Mantenimiento Planeación y Control. México : Limusa Wiley. ISBN: 979-968-18-5918-3.
- **ESPINOZA MONTES, CIRO. 2010.** Metodología de investigación tecnológica. Huancayo, Perú : Imagen Grafica SAC. 978-612-00-0222-3.
- **FORCADAS FELIU, JORGE. 1983.** Estadística aplicada a los sistemas y confiabilidad en los sistemas. Medellín : Revisa SAI, Sociedad Antioqueña de Ingenieros y Arquitectos. pág. 41. Vol. 1.
- **GASCA, MAIRA, CAMARGO, LUIS L Y MEDINA, BYRON. 2017.** Sistema para evaluar la confiabilidad de equipos críticos en el sector industrial. [En línea]. [Citado el: 31 de octubre de 2019.] https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642017000400014&lng=es&nrm=iso.0718-0764.
- **HERNÁNDEZ SAMPIERI, ROBERTO. 2014.** METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN SEXTA EDICIÓN. México : McGRAW-HILL/ INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. 978-1-4562-2396-0.
- **JIMÉNEZ SILVA, ERIKA ESTEPHANIA Y PATIÑO HERNÁNDEZ, MARCELA. 2017.** PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD EN LÍNEA PILOTO EN LA

COMPAÑÍA NACIONAL DE CHOCOLATES S.A. BOGOTÁ :
UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS.

- **MENDOZA CARVAJAL, CESAR. 2016.** SISTEMA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA MOTORES ELÉCTRICOS DE INDUCCIÓN. La Paz - Bolivia : UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS.
- **MORA GUTIÉRREZ, LUIS ALBERTO. 2009.** MANTENIMIENTO PLANEACIÓN, EJECUCIÓN Y CONTROL. Colombia : ALFAOMEGA COLOMBIANA S.A.,. 978-958-682-769-0.
- **MOUBRAY, JOHN MITCHELL. 1997.** RELIABILITY - CENTRED MAINTENANCE (RCM). [trad.] SUEIRO Y ASOCIADOS ELLMANN. Segunda edición. North Carolina : Aladon LLC, 1997. 09539603-2-3.
- **O'CONNOR, PATRICK D.T. 2002.** PRACTICAL RELIABILITY ENGINEERING. Cuarta edición. United Kingdom : John Wiley and Son. pág. 540. 0-470-84463-9.
- **RAMÍREZ LUZ, RAMÓN. 2017.** Gestión de proyectos de instalaciones de telecomunicaciones. Madrid : Parainfo.
- **ROJAS ARIAS, JAIME. 1975.** Introducción a la confiabilidad. Bogotá : Universidad de Los Andes. pág. 214.
- **TUESTA YLIQUIN, JEHYSSON MIGUEL. 2014.** Plan De Mantenimiento para Mejorar la Disponibilidad de los Equipos Pesados de la Empresa Obrainsa. Facultad de ingeniería Mecánica y Energía, Universidad Nacional del Callao. Callao : Universidad Nacional del Callao. Tesis.
- **VILLARREAL ALBITRES, WILLIAM FERNANDO. 2017.** COURSEHERO. [En línea]. [Citado el: 31 de octubre de 2019.] <https://www.coursehero.com/file/34427846/AMEFxlsx/>.

ANEXOS

MATRIZ DE CONSISTENCIA					
DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA	PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DISEÑO Y TIPO DE INVESTIGACIÓN
<p>La empresa Maquinarias y Equipos del Perú SA (MAQUIPERU SA), ubicada en la Av. Nicolas Ayllon 1820, Distrito de San Luis, Provincia de Lima, se dedica a la venta y alquiler de maquinaria pesada, realizando trabajos de mantenimiento y/o reparación de equipos pesados, la cual cuenta con una flota de equipos conformados por: Montacargas a combustión, montacargas eléctricos, apiladores, transpaletas, cargadores frontales, elevadores y excavadoras hidráulicas.</p> <p>Uno de los problemas principales en la empresa MAQUIPERU es que los planes de mantenimiento de los equipos arrendados se encuentran basados en un mantenimiento preventivo recomendado por fábrica, sin tomar en consideración que estos se encuentran sometidos a condiciones externas desfavorables, lo cual origina paradas imprevistas por fallas frecuentes de los equipos, incrementando el costo de mantenimiento correctivo no planificado, generando así sobrecosto de los componentes, repuestos de reparación e incumplimiento en la programación de la producción en las diferentes empresas donde se arriendan estos equipos.</p>	<p><u>PROBLEMA GENERAL</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿El plan de mantenimiento centrado en confiabilidad mejorará la disponibilidad de la maquinaria en arriendo de la empresa MAQUIPERU SA? 	<p><u>OBJETIVO GENERAL</u></p> <p>Diseñar un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para mejorar la disponibilidad de la maquinaria en arriendo de la empresa MAQUIPERU SA.</p>	<p><u>HIPOTESIS GENERAL</u></p> <p>Si se diseña un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad permitirá mejorar la disponibilidad de la maquinaria en arriendo de la empresa MAQUIPERU SA.</p>	<p><u>VARIABLE INDEPENDIENTE</u></p> <p>Plan de mantenimiento.</p>	<p>La presente investigación es no experimental porque no manipula las variables estudiadas, de tipo aplicada porque tiene como propósito transformar los conocimientos existentes, busca que las soluciones generen efectividad o productividad.</p>
	<p><u>PROBLEMAS ESPECIFICOS</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo se incrementa el tiempo entre fallas utilizando un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad? • ¿Cómo se reduce el tiempo promedio para reparar utilizando un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad? • ¿Cómo el plan de mantenimiento centrado en confiabilidad permite reducir los costos de mantenimiento? 	<p><u>OBJETIVOS ESPECIFICOS</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Incrementar el tiempo entre fallas utilizando un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad. • Reducir el tiempo promedio para reparar utilizando un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad. • Reducir los costos de mantenimiento utilizando un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad. 	<p><u>HIPOTESIS ESPECIFICAS</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Si se diseña un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad permitirá incrementar el tiempo entre fallas. • Si se establece un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad se logra reducir el tiempo promedio para reparar. • Si se diseña un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad permitirá reducir los costos de reparación. 	<p><u>VARIABLE DEPENDIENTE</u></p> <p>Disponibilidad de Maquinarias.</p>	

Anexo 3 - Transmisión RH dañada



Bocamasa de transmisión RH dañada



Transmisión RH dañada



ANEXO 4 – REPORTE DE FALLAS EN TRANSMISIÓN



ORDEN DE TRABAJO

Nº 088723

Av. Nicolás Ayllón N° 1820
San Luis - Lima - Perú
Central Telefónica: (51-1) 719 8800
Servicio Técnico
E-mail: taller@maquiperu.com
www.maquiperu.com

FECHA: 24/01/18

CENTRO DE COSTOS

COMERCIAL	
ARRIENDO	X
GARANTÍA	
TALLER	

Nº 17

1. Información General

1.1 Datos del Cliente

Empresa	Contacto
E-mail	Nº Teléfono
Dirección	

1.2 Datos del Equipo

Equipo	Montacargas	Marca	Yale (17)	Modelo	ERPO 35VT	Nº Serie	G803N100888
Motor		Modelo		Nº Serie		Horómetro	3806 (Horas)
Trabajo Realizado	Mecánico	Hidráulico		Eléctrico		Otros	

2. Observaciones del Cliente

3. Informe de reparación

Informe del desmontaje de caja de transmisión (transmisión) lado izquierdo

* Se drenó aceite del componente encontrando la mitad de aceite del total que debería tener, contaminado con residuos de metal de color oscuro
* Se desarma el componente dañado encontrando la cara obesa de la carcasa donde va la bocanasa dañada (gastada) rodaje exterior destrozado parte de la pista destrozada deflector amalogrado; refren roto, bocanasa gastada parte de la bocanasa corroída (dañada).
* Se hizo indagaciones sobre los mantenimientos de la caja de transmisión y se encontró lo siguiente que las fechas de mantenimiento: el 26/10/2017 a las 2451 horas se hizo la primera 1ª Servicio y a las 2957 horas del 29/11/17 y cahe a las 3806 horas del 23/01/18

4. Recomendaciones

5. Requerimiento de repuestos adicionales

Código	Cantidad	Detalle
1		
2		
3		
4		
5		

6. Personal de Servicio Técnico

DNI	Nombre y Apellidos
1 09894256	Waldo Escudé Flores
2	
3	

Faena
Hora Inicio: 8:20 AM 23/01/18
Hora Fin: 3:00 PM 24/01/18

7. Unidad de Servicio

Placa	Km. Salida	Hora Salida	Km. Entrada	Hora Entrada	Chofer

NOTA: Sr. Cliente, para una mejor atención es necesario que antes de firmar esta orden de trabajo, verifique las horas de inicio y hora fin de faena.

8. Emisores

Firma y VºBº
Jefe de Servicio

Firma
Técnico

Firma y VºBº
Cliente

Av. Nicolás Ayllón N° 1820
San Luis - Lima - Perú
Central Telefónica: (51-1) 719 8800
Servicio Técnico
E-mail: taller@maquiperu.com
www.maquiperu.com

FECHA: 06/04/18

CENTRO DE COSTOS	COMERCIAL	
	ARRIENDO	X
	GARANTÍA	
	TALLER	

1. Información General

1.1 Datos del Cliente

Empresa		Contacto	
E-mail		Nº Teléfono	
Dirección	Las Rosales		

1.2 Datos del Equipo

Equipo	Montadora dect	Marca	Yale	Modelo	EMPOSSUT	Nº Serie	0096P (15)
Motor		Modelo		Nº Serie		Horómetro	4726 (Horas)
Trabajo Realizado	Mecánico	Hidráulico		Eléctrico		Otros	

2. Observaciones del Cliente

Se Reporto sonido de Rodaje de Transmision Inquirido

3. Informe de reparación

Antecedente: Transmisiones 6H y 6H nunca fueron orientadas. Según el historial de mantenimiento no se realizaron cambios de aceite (en sus intervalos). De acuerdo al Técnico el equipo nunca presenta fuga de aceite por las transmisiones.
 - Se desmonta transmision para probar a esto se encuentra ruido flojo.
 - Antes de desarmar transmision Inquirido se drenó aceite y se obtuvo un aceite con presencia de limpo y oscuridad con proporciones menores (0.44%) en relación al transmision derecho.
 - Se desarmo tapa de transmision y discos de friccion (dispositivos) se desarmo ruido de ruido y se encuentra ruido y se encuentra completamente destruido con danos graves en la base del rodaje y ruido de ruido.
 - Al desarmar el transmision derecho, se encuentra parte de la corona del rodaje extrano carbonizada. lo que puede ser el causante del ruido puntotero de dicho rodaje en el transmision Inquirido.

4. Recomendaciones

Tanto en el equipo # 18 como este equipo nunca se desarmó los transmisiones y basándose a los antecedentes de la grasa encontrada en el rodaje de transmision derecho y fugas de aceite de transmisiones reportados.

5. Requerimiento de repuestos adicionales

Código	Cantidad	Detalle
1		
2		
3		
4		
5		

6. Personal de Servicio Técnico

DNI	Nombre y Apellidos
1	Roberto Ramirez
2	Urbano T. C. P. C. P. C.
3	
Faena	Hora Inicio:
	Hora Fin:

7. Unidad de Servicio

Placa	Km. Salida	Hora Salida	Km. Entrada	Hora Entrada	Chofer

NOTA: Sr. Cliente, para una mejor atención es necesario que antes de firmar esta orden de trabajo, verifique las horas de inicio y hora fin de faena.

8. Emisores

Firma y VºBº Jefe de Servicio  Firma y VºBº Cliente

Av. Nicolás Ayllón Nº 1820
San Luis - Lima - Perú
Central Telefónica: (51-1) 719 8800
Servicio Técnico
E-mail: taller@maquiperu.com
www.maquiperu.com

FECHA: 06/04/18

CENTRO DE COSTOS	COMERCIAL	
	ARRIENDO	X
	GARANTÍA	
	TALLER	

1. Información General

1.1 Datos del Cliente

Empresa		Contacto	
E-mail		Nº Teléfono	
Dirección	Las Rosales		

1.2 Datos del Equipo

Equipo	Hidráulica dect	Marca	Yale	Modelo	EMPOSSUT	Nº Serie	0096P (15)
Motor		Modelo		Nº Serie		Horómetro	4726 (Horas)
Trabajo Realizado	Mecánico		Hidráulico		Eléctrico		Otros

2. Observaciones del Cliente

Se Reporto sonido de Rodaje de Transmisió Inquirido

3. Informe de reparación

Antecedente: Transmisiones 6 y 6t nunca fueron desmontadas. Según el historial de mantenimiento no se realizaron cambios de aceite (en consecuencia) de acuerdo al técnico el equipo nunca presenta fuga de aceite por las transmisiones.

- Se desmonta Transmisió para probar a esto se encuentra rueda floja.
- Antes de desarmar Transmisió Inquirido se drenó aceite y se obtuvo un aceite con presencia de limpies y oscurecido con proporciones menores (0.44%) en relación al Transmisió Directo.
- Se desarmó Tapa de Transmisió y discos de fricción (dispositivos).
- Se desarmó Rueda de Rodaje y se encontró Rodaje y Rótulo completamente destruido con ranuras profundas en la base del Rodaje y Rueda de Rodaje.
- Al desarmar el Transmisió Directo, se encontró parte de la corona del Rodaje estando deteriorada. Lo que puede ser el causante del ruido producido de dicho Rodaje en el Transmisió Inquirido.

4. Recomendaciones

Tanto en el equipo # 17 como este equipo nunca se desarmó los Transmisiones y basándose a los antecedentes de la grasa en conjunto en el Rodaje de Transmisió Directo y Fugas de aceite de Transmisiones Repetitivas.

5. Requerimiento de repuestos adicionales

Código	Cantidad	Detalle
1		
2		
3		
4		
5		

6. Personal de Servicio Técnico

DNI	Nombre y Apellidos
1	Agencia Flanil
2	Urbano T. C. P. C. U. U.
3	
Faena	Hora Inicio:
	Hora Fin:

7. Unidad de Servicio

Placa	Km. Salida	Hora Salida	Km. Entrada	Hora Entrada	Chofer

NOTA: Sr. Cliente, para una mejor atención es necesario que antes de firmar esta orden de trabajo, verifique las horas de inicio y hora fin de faena.

8. Emisores

Firma y VºBº
Jefe de Servicio

Firma
Técnico

Firma y VºBº
Cliente

ANEXO 5 – MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN TRANSMISIONES



ANEXO 6 – TABLAS DE VALORES DE WEIBULL EN EQUIPOS DE LA PLANTA 2

Yale 11 – Año 2017

Calculo de parametros Weibull								
i	ti	Linea media % acum falla	$Y = \ln(\ln(1/(1-f(t))))$	$\ln(ti)$	$(\ln(ti)-X)^2$	$b-\ln(ti)*\beta$	$Y-b-\ln(ti)*\beta$	$(Y-b-\ln(ti)*\beta)^2$
1	188	17%	-1.70	5.24	1.03	-1.62	-0.08	0.01
2	301	33%	-0.90	5.71	0.30	-1.08	0.18	0.03
3	624	50%	-0.37	6.44	0.03	-0.25	-0.12	0.01
4	958	67%	0.09	6.86	0.38	0.25	-0.15	0.02
5	1106	83%	0.58	7.01	0.57	0.41	0.17	0.03
Total Suma			-2.29	31.25	2.31	-2.29	0.00	0.11

Yale 11 – Año 2018

Calculo de parametros Weibull								
i	ti	Linea media % acum falla	$Y = \ln(\ln(1/(1-f(t))))$	$\ln(ti)$	$(\ln(ti)-X)^2$	$b-\ln(ti)*\beta$	$Y-b-\ln(ti)*\beta$	$(Y-b-\ln(ti)*\beta)^2$
1	480	17%	-1.70	6.17	0.35	-1.74	0.04	0.00
2	757	33%	-0.90	6.63	0.02	-0.75	-0.15	0.02
3	962	50%	-0.37	6.87	0.01	-0.24	-0.13	0.02
4	982	67%	0.09	6.89	0.02	-0.19	0.29	0.08
5	1435	83%	0.58	7.27	0.25	0.63	-0.04	0.00
Total Suma			-2.29	33.83	0.65	-2.29	0.00	0.12

2017	
D	97.20%
MTBF	736.686
MTTR	21.200

2018	
D	96.68%
MTBF	950.759
MTTR	32.600

Yale 12 – Año 2017

Calculo de parametros Weibull								
i	ti	Linea media % acum falla	$Y = \ln(\ln(1/(1-f(t))))$	$\ln(ti)$	$(\ln(ti)-X)^2$	$b-\ln(ti)*\beta$	$Y-b-\ln(ti)*\beta$	$(Y-b-\ln(ti)*\beta)^2$
1	50	17%	-1.70	3.91	1.98	-1.83	0.13	0.02
2	167	33%	-0.90	5.12	0.04	-0.66	-0.25	0.06
3	316	50%	-0.37	5.76	0.19	-0.04	-0.33	0.11
4	358	67%	0.09	5.88	0.31	0.09	0.01	0.00
5	379	83%	0.58	5.94	0.38	0.14	0.44	0.19
Total Suma			-2.29	26.60	2.91	-2.29	0.00	0.38

Yale 12 – Año 2018

Calculo de parametros Weibull								
i	ti	Linea media % acum falla	$Y = \ln(\ln(1/(1-f(t))))$	$\ln(ti)$	$(\ln(ti)-X)^2$	$b-\ln(ti)*\beta$	$Y-b-\ln(ti)*\beta$	$(Y-b-\ln(ti)*\beta)^2$
1	304	17%	-1.70	5.72	0.67	-1.56	-0.14	0.02
2	410	33%	-0.90	6.02	0.27	-1.16	0.26	0.07
3	958	50%	-0.37	6.86	0.11	-0.02	-0.35	0.12
4	1072	67%	0.09	6.98	0.19	0.13	-0.04	0.00
5	1233	83%	0.58	7.12	0.33	0.32	0.26	0.07
Total Suma			-2.29	32.69	1.58	-2.29	0.00	0.28

2017	
D	90.50%
MTBF	331.331
MTTR	34.800

2018	
D	90.72%
MTBF	891.791
MTTR	91.200

Yale 13 – Año 2017

Calculo de parametros Weibull								
i	ti	Linea media % acum falla	$Y = \ln(\ln(1/(1-f(t))))$	$\ln(ti)$	$(\ln(ti)-X)^2$	$b-\ln(ti)*\beta$	$Y-b-\ln(ti)*\beta$	$(Y-b-\ln(ti)*\beta)^2$
1	33	17%	-1.70	3.50	3.88	-1.85	0.15	0.02
2	291	33%	-0.90	5.67	0.04	-0.31	-0.59	0.35
3	325	50%	-0.37	5.78	0.10	-0.23	-0.13	0.02
4	411	67%	0.09	6.02	0.31	-0.07	0.16	0.03
5	577	83%	0.58	6.36	0.80	0.17	0.41	0.17
Total Suma			-2.29	27.33	5.12	-2.29	0.00	0.58

Yale 13 – Año 2018

Calculo de parametros Weibull								
i	ti	Linea media % acum falla	$Y = \ln(\ln(1/(1-f(t))))$	$\ln(ti)$	$(\ln(ti)-X)^2$	$b-\ln(ti)*\beta$	$Y-b-\ln(ti)*\beta$	$(Y-b-\ln(ti)*\beta)^2$
1	129	14%	-1.87	4.86	2.11	-1.96	0.09	0.01
2	303	29%	-1.09	5.71	0.36	-1.09	0.00	0.00
3	620	43%	-0.58	6.43	0.01	-0.35	-0.23	0.05
4	857	57%	-0.17	6.75	0.19	-0.02	-0.15	0.02
5	1143	71%	0.23	7.04	0.53	0.28	-0.05	0.00
6	1193	86%	0.67	7.08	0.59	0.32	0.34	0.12
Total Suma			-2.81	37.88	3.80	-2.81	0.00	0.20

2018	
D	94.28%
MTBF	861.814
MTTR	52.333

2019	
D	99.85%
MTBF	1094.275
MTTR	1.667

Yale 14 – Año 2017

Calculo de parametros Weibull								
i	ti	Linea media % acum falla	$Y = \ln(\ln(1/(1-f(t))))$	$\ln(ti)$	$(\ln(ti)-X)^2$	$b-\ln(ti)*\beta$	$Y-b-\ln(ti)*\beta$	$(Y-b-\ln(ti)*\beta)^2$
1	69	17%	-1.70	4.23	2.98	-1.84	0.13	0.02
2	446	33%	-0.90	6.10	0.02	-0.35	-0.55	0.31
3	601	50%	-0.37	6.40	0.19	-0.11	-0.26	0.07
4	627	67%	0.09	6.44	0.23	-0.08	0.17	0.03
5	759	83%	0.58	6.63	0.45	0.08	0.51	0.26
Total Suma			-2.29	29.81	3.87	-2.29	0.00	0.68

Yale 14 – Año 2018

Calculo de parametros Weibull								
i	ti	Linea media % acum falla	$Y = \ln(\ln(1/(1-f(t))))$	$\ln(ti)$	$(\ln(ti)-X)^2$	$b-\ln(ti)*\beta$	$Y-b-\ln(ti)*\beta$	$(Y-b-\ln(ti)*\beta)^2$
1	195	14%	-1.87	5.27	0.95	-1.55	-0.32	0.10
2	270	29%	-1.09	5.60	0.42	-1.19	0.10	0.01
3	324	43%	-0.58	5.78	0.22	-0.99	0.41	0.16
4	905	57%	-0.17	6.81	0.32	0.15	-0.32	0.10
5	1054	71%	0.23	6.96	0.51	0.32	-0.10	0.01
6	1159	86%	0.67	7.06	0.66	0.43	0.24	0.06
Total Suma			-2.81	37.48	3.06	-2.81	0.00	0.44

2017	
D	94.63%
MTBF	783.150
MTTR	44.400

2018	
D	95.74%
MTBF	757.246
MTTR	33.667

Yale 15 – Año 2017

Calculo de parametros Weibull								
i	ti	Linea media % acum falla	$Y = \ln(\ln(1/(1-f(t))))$	$\ln(ti)$	$(\ln(ti)-X)^2$	$b-\ln(ti)*\beta$	$Y-b-\ln(ti)*\beta$	$(Y-b-\ln(ti)*\beta)^2$
1	243	20%	-1.50	5.49	0.68	-1.55	0.05	0.00
2	569	40%	-0.67	6.34	0.00	-0.41	-0.27	0.07
3	631	60%	-0.09	6.45	0.02	-0.27	0.18	0.03
4	1069	80%	0.48	6.97	0.44	0.44	0.04	0.00
Total Suma			-1.78	25.26	1.13	-1.78	0.00	0.11

Yale 15 – Año 2018

Calculo de parametros Weibull								
i	ti	Linea media % acum falla	$Y = \ln(\ln(1/(1-f(t))))$	$\ln(ti)$	$(\ln(ti)-X)^2$	$b-\ln(ti)*\beta$	$Y-b-\ln(ti)*\beta$	$(Y-b-\ln(ti)*\beta)^2$
1	245	17%	-1.70	5.50	1.08	-1.83	0.13	0.02
2	621	33%	-0.90	6.43	0.01	-0.60	-0.30	0.09
3	742	50%	-0.37	6.61	0.00	-0.37	0.00	0.00
4	1144	67%	0.09	7.04	0.25	0.21	-0.11	0.01
5	1231	83%	0.58	7.12	0.33	0.30	0.28	0.08
Total Suma			-2.29	32.70	1.68	-2.29	0.00	0.20

2017	
D	94.93%
MTBF	707.114
MTTR	37.750

2018	
D	93.97%
MTBF	900.866
MTTR	57.800

Yale 16 – Año 2017

Calculo de parametros Weibull								
i	ti	Linea media % acum falla	$Y = \ln(\ln(1/(1-f(t))))$	$\ln(ti)$	$(\ln(ti)-x)^2$	$b-\ln(ti)*\beta$	$Y-b-\ln(ti)*\beta$	$(Y-b-\ln(ti)*\beta)^2$
1	48	11%	-2.14	3.87	2.70	-2.01	-0.13	0.02
2	76	22%	-1.38	4.33	1.40	-1.58	0.20	0.04
3	197	33%	-0.90	5.28	0.05	-0.70	-0.20	0.04
4	277	44%	-0.53	5.62	0.01	-0.38	-0.15	0.02
5	351	56%	-0.21	5.86	0.12	-0.16	-0.05	0.00
6	388	67%	0.09	5.96	0.20	-0.07	0.16	0.03
7	453	78%	0.41	6.12	0.36	0.07	0.33	0.11
8	1171	89%	0.79	7.07	2.41	0.96	-0.17	0.03
Total Suma			-3.87	44.11	7.25	-3.87	0.00	0.29

Yale 16 – Año 2018

Calculo de parametros Weibull								
i	ti	Linea media % acum falla	$Y = \ln(\ln(1/(1-f(t))))$	$\ln(ti)$	$(\ln(ti)-x)^2$	$b-\ln(ti)*\beta$	$Y-b-\ln(ti)*\beta$	$(Y-b-\ln(ti)*\beta)^2$
1	291	17%	-1.70	5.67	0.74	-1.85	0.15	0.02
2	726	33%	-0.90	6.59	0.00	-0.37	-0.53	0.28
3	827	50%	-0.37	6.72	0.03	-0.16	-0.20	0.04
4	835	67%	0.09	6.73	0.04	-0.15	0.24	0.06
5	1059	83%	0.58	6.97	0.19	0.24	0.34	0.12
Total Suma			-2.29	32.67	1.00	-2.29	0.00	0.52

2017	
D	81.44%
MTBF	432.772
MTTR	98.625

2018	
D	90.96%
MTBF	818.576
MTTR	81.400

Yale 17 – Año 2017

Cálculo de parametros Weibull								
i	ti	Linea media % acum falla	$Y = \ln(\ln(1/(1-f(t))))$	$\ln(ti)$	$(\ln(ti)-x)^2$	$b-\ln(ti)*\beta$	$Y-b-\ln(ti)*\beta$	$(Y-b-\ln(ti)*\beta)^2$
1	78	17%	-1.70	4.36	0.94	-1.30	-0.40	0.16
2	103	33%	-0.90	4.63	0.48	-1.06	0.16	0.02
3	145	50%	-0.37	4.98	0.12	-0.76	0.40	0.16
4	544	67%	0.09	6.30	0.95	0.39	-0.29	0.09
5	578	83%	0.58	6.36	1.07	0.44	0.14	0.02
Total Suma			-2.29	26.63	3.55	-2.29	0.00	0.45

Yale 17 – Año 2018

Cálculo de parametros Weibull								
i	ti	Linea media % acum falla	$Y = \ln(\ln(1/(1-f(t))))$	$\ln(ti)$	$(\ln(ti)-x)^2$	$b-\ln(ti)*\beta$	$Y-b-\ln(ti)*\beta$	$(Y-b-\ln(ti)*\beta)^2$
1	120	17%	-1.70	4.79	2.70	-1.86	0.16	0.03
2	597	33%	-0.90	6.39	0.00	-0.49	-0.41	0.17
3	900	50%	-0.37	6.80	0.14	-0.14	-0.22	0.05
4	1156	67%	0.09	7.05	0.39	0.07	0.02	0.00
5	1242	83%	0.58	7.12	0.48	0.13	0.45	0.20
Total Suma			-2.29	32.16	3.71	-2.29	0.00	0.45

2017	
D	87.15%
MTBF	373.163
MTTR	55.000

2018	
D	87.41%
MTBF	1155.670
MTTR	166.400

Yale 18 – Año 2017

Cálculo de parametros Weibull								
i	ti	Linea media % acum falla	$Y = \ln(\ln(1/(1-f(t))))$	$\ln(ti)$	$(\ln(ti)-X)^2$	$b-\ln(ti)*\beta$	$Y-b-\ln(ti)*\beta$	$(Y-b-\ln(ti)*\beta)^2$
1	149	20%	-1.50	5.00	0.89	-1.26	-0.24	0.06
2	217	40%	-0.67	5.38	0.32	-0.93	0.26	0.07
3	533	60%	-0.09	6.28	0.11	-0.16	0.07	0.01
4	1236	80%	0.48	7.12	1.38	0.57	-0.09	0.01
Total Suma			-1.78	23.78	2.70	-1.78	0.00	0.14

Yale 18 – Año 2018

Cálculo de parametros Weibull								
i	ti	Linea media % acum falla	$Y = \ln(\ln(1/(1-f(t))))$	$\ln(ti)$	$(\ln(ti)-X)^2$	$b-\ln(ti)*\beta$	$Y-b-\ln(ti)*\beta$	$(Y-b-\ln(ti)*\beta)^2$
1	85	13%	-2.01	4.44	2.61	-2.27	0.26	0.07
2	439	25%	-1.25	6.08	0.00	-0.45	-0.80	0.64
3	448	38%	-0.76	6.10	0.00	-0.42	-0.33	0.11
4	509	50%	-0.37	6.23	0.03	-0.28	-0.08	0.01
5	511	63%	-0.02	6.24	0.03	-0.28	0.26	0.07
6	731	75%	0.33	6.59	0.29	0.12	0.21	0.04
7	814	88%	0.73	6.70	0.42	0.24	0.49	0.24
Total Suma			-3.34	42.40	3.38	-3.34	0.00	1.17

2017	
D	92.36%
MTBF	691.833
MTTR	57.250

2018	
D	91.59%
MTBF	630.165
MTTR	57.857

Yale 19 – Año 2017

Cálculo de parametros Weibull								
i	ti	Linea media % acum falla	$Y = \ln(\ln(1/(1-f(t))))$	$\ln(ti)$	$(\ln(ti)-X)^2$	$b-\ln(ti)*\beta$	$Y-b-\ln(ti)*\beta$	$(Y-b-\ln(ti)*\beta)^2$
1	146	11%	-2.14	4.98	1.61	-2.16	0.02	0.00
2	300	22%	-1.38	5.70	0.30	-1.21	-0.17	0.03
3	453	33%	-0.90	6.12	0.02	-0.66	-0.24	0.06
4	507	44%	-0.53	6.23	0.00	-0.52	-0.02	0.00
5	559	56%	-0.21	6.33	0.01	-0.39	0.18	0.03
6	749	67%	0.09	6.62	0.13	0.00	0.09	0.01
7	763	78%	0.41	6.64	0.15	0.03	0.38	0.15
8	1640	89%	0.79	7.40	1.32	1.04	-0.25	0.06
Total Suma			-3.87	50.02	3.54	-3.87	0.00	0.34

Yale 19 – Año 2018

Calculo de parametros Weibull								
i	ti	Linea media % acum falla	$Y = \ln(\ln(1/(1-f(t))))$	$\ln(ti)$	$(\ln(ti)-X)^2$	$b-\ln(ti)*\beta$	$Y-b-\ln(ti)*\beta$	$(Y-b-\ln(ti)*\beta)^2$
1	919	25%	-1.25	6.82	0.14	-1.25	0.01	0.00
2	1386	50%	-0.37	7.23	0.00	-0.35	-0.02	0.00
3	1871	75%	0.33	7.53	0.11	0.32	0.01	0.00
Total Suma			-1.29	21.59	0.25	-1.29	0.00	0.00

2017	
D	97.41%
MTBF	782.802
MTTR	20.800

2018	
D	96.23%
MTBF	688.653
MTTR	27.000

Yale 20 – Año 2017

Cálculo de parametros Weibull								
i	ti	Linea media % acum falla	$Y = \ln(\ln(1/(1-f(t))))$	$\ln(ti)$	$(\ln(ti)-X)^2$	$b-\ln(ti)*\beta$	$Y-b-\ln(ti)*\beta$	$(Y-b-\ln(ti)*\beta)^2$
1	100	17%	-1.70	4.61	2.54	-1.86	0.16	0.02
2	528	33%	-0.90	6.27	0.00	-0.40	-0.51	0.26
3	557	50%	-0.37	6.32	0.02	-0.35	-0.02	0.00
4	816	67%	0.09	6.70	0.26	-0.01	0.11	0.01
5	1201	83%	0.58	7.09	0.80	0.32	0.26	0.07
Total Suma			-2.29	30.99	3.61	-2.29	0.00	0.36

Yale 20 – Año 2018

Cálculo de parametros Weibull								
i	ti	Linea media % acum falla	$Y = \ln(\ln(1/(1-f(t))))$	$\ln(ti)$	$(\ln(ti)-X)^2$	$b-\ln(ti)*\beta$	$Y-b-\ln(ti)*\beta$	$(Y-b-\ln(ti)*\beta)^2$
1	429	14%	-1.87	6.06	0.14	-1.21	-0.66	0.44
2	480	29%	-1.09	6.17	0.07	-0.99	-0.10	0.01
3	486	43%	-0.58	6.19	0.06	-0.97	0.38	0.15
4	545	57%	-0.17	6.30	0.02	-0.74	0.58	0.33
5	955	71%	0.23	6.86	0.18	0.35	-0.13	0.02
6	1164	86%	0.67	7.06	0.38	0.74	-0.07	0.01
Total Suma			-2.81	38.64	0.86	-2.81	0.00	0.95

2017	
D	98.36%
MTBF	885.268
MTTR	14.800

2018	
D	95.13%
MTBF	706.794
MTTR	36.167

Yale 21 – Año 2017

Cálculo de parametros Weibull								
i	ti	Linea media % acum falla	$Y = \ln(\ln(1/(1-f(t))))$	$\ln(ti)$	$(\ln(ti)-X)^2$	$b-\ln(ti)*\beta$	$Y-b-\ln(ti)*\beta$	$(Y-b-\ln(ti)*\beta)^2$
1	65	14%	-1.87	4.17	2.61	-1.88	0.01	0.00
2	169	29%	-1.09	5.13	0.44	-1.05	-0.04	0.00
3	255	43%	-0.58	5.54	0.06	-0.69	0.11	0.01
4	657	57%	-0.17	6.49	0.49	0.14	-0.31	0.09
5	711	71%	0.23	6.57	0.60	0.21	0.02	0.00
6	940	86%	0.67	6.85	1.11	0.45	0.21	0.04
Total Suma			-2.81	34.75	5.31	-2.81	0.00	0.15

Yale 21 – Año 2018

Cálculo de parametros Weibull								
i	ti	Linea media % acum falla	$Y = \ln(\ln(1/(1-f(t))))$	$\ln(ti)$	$(\ln(ti)-X)^2$	$b-\ln(ti)*\beta$	$Y-b-\ln(ti)*\beta$	$(Y-b-\ln(ti)*\beta)^2$
1	421	17%	-1.70	6.04	0.45	-1.68	-0.02	0.00
2	698	33%	-0.90	6.55	0.03	-0.76	-0.14	0.02
3	767	50%	-0.37	6.64	0.01	-0.59	0.22	0.05
4	1276	67%	0.09	7.15	0.19	0.34	-0.24	0.06
5	1325	83%	0.58	7.19	0.23	0.40	0.18	0.03
Total Suma			-2.29	33.57	0.90	-2.29	0.00	0.16

2017	
D	88.11%
MTBF	598.006
MTTR	80.667

2018	
D	93.87%
MTBF	943.020
MTTR	61.600

Yale 22 – Año 2017

Cálculo de parametros Weibull								
i	ti	Linea media % acum falla	$Y = \ln(\ln(1/(1-f(t))))$	$\ln(ti)$	$(\ln(ti)-X)^2$	$b-\ln(ti)*\beta$	$Y-b-\ln(ti)*\beta$	$(Y-b-\ln(ti)*\beta)^2$
1	158	17%	-1.70	5.06	1.25	-1.78	0.07	0.01
2	409	33%	-0.90	6.01	0.03	-0.66	-0.25	0.06
3	465	50%	-0.37	6.14	0.00	-0.50	0.14	0.02
4	833	67%	0.09	6.73	0.30	0.18	-0.09	0.01
5	1055	83%	0.58	6.96	0.61	0.46	0.12	0.01
Total Suma			-2.29	30.90	2.19	-2.29	0.00	0.11

Yale 22 – Año 2018

Cálculo de parametros Weibull								
i	ti	Linea media % acum falla	$Y = \ln(\ln(1/(1-f(t))))$	$\ln(ti)$	$(\ln(ti)-X)^2$	$b-\ln(ti)*\beta$	$Y-b-\ln(ti)*\beta$	$(Y-b-\ln(ti)*\beta)^2$
1	701	17%	-1.70	6.55	0.07	-1.29	-0.41	0.17
2	706	33%	-0.90	6.56	0.06	-1.26	0.36	0.13
3	924	50%	-0.37	6.83	0.00	-0.39	0.02	0.00
4	1033	67%	0.09	6.94	0.02	-0.03	0.12	0.01
5	1283	83%	0.58	7.16	0.12	0.68	-0.09	0.01
Total Suma			-2.29	34.04	0.27	-2.29	0.00	0.33

2017	
D	98.25%
MTBF	674.473
MTTR	12.000

2018	
D	92.40%
MTBF	933.872
MTTR	76.800

Yale 23 – Año 2017

Cálculo de parametros Weibull								
i	ti	Linea media % acum falla	$Y = \ln(\ln(1/(1-f(t))))$	$\ln(ti)$	$(\ln(ti)-X)^2$	$b-\ln(ti)*\beta$	$Y-b-\ln(ti)*\beta$	$(Y-b-\ln(ti)*\beta)^2$
1	304	25%	-1.25	5.72	0.59	-1.14	-0.10	0.01
2	581	50%	-0.37	6.36	0.01	-0.54	0.17	0.03
3	1583	75%	0.33	7.37	0.78	0.39	-0.07	0.00
Total Suma			-1.29	19.45	1.38	-1.29	0.00	0.05

Yale 23 – Año 2018

Cálculo de parametros Weibull								
i	ti	Linea media % acum falla	$Y = \ln(\ln(1/(1-f(t))))$	$\ln(ti)$	$(\ln(ti)-X)^2$	$b-\ln(ti)*\beta$	$Y-b-\ln(ti)*\beta$	$(Y-b-\ln(ti)*\beta)^2$
1	161	14%	-1.87	5.08	1.00	-1.26	-0.61	0.37
2	180	29%	-1.09	5.19	0.79	-1.17	0.08	0.01
3	246	43%	-0.58	5.51	0.33	-0.93	0.35	0.12
4	382	57%	-0.17	5.95	0.02	-0.58	0.41	0.17
5	1313	71%	0.23	7.18	1.21	0.41	-0.18	0.03
6	1949	86%	0.67	7.58	2.24	0.72	-0.05	0.00
Total Suma			-2.81	36.48	5.58	-2.81	0.00	0.70

2017	
D	89.73%
MTBF	1071.475
MTTR	122.667

2018	
D	96.98%
MTBF	897.772
MTTR	28.000