

**ESTABLECIMIENTO DE LA VIDA OPTIMA DE COMPONENTES DE LA FLOTA
777F DE LA MINA CALENTURITAS USANDO WEIBULL**

**ANDRES EDUARDO QUINTERO MONTES
FELIX LEANDRO JIMENEZ ROA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2018**

**ESTABLECIMIENTO DE LA VIDA OPTIMA DE COMPONENTES DE LA FLOTA
777F DE LA MINA CALENTURITAS USANDO WEIBULL**

**ANDRES EDUARDO QUINTERO MONTES
FELIX LEANDRO JIMENEZ ROA**

**Monografía de Grado presentada para optar al título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento**

**Director
MIGUEL ANDRES QUIROGA PALACIOS
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2018**

AGRADECIMIENTOS

A Dios por la vida y las bendiciones que recibo cada día.

A mi familia por ser mi apoyo incondicional.

Al proyecto Calenturitas por todas las enseñanzas y el apoyo en el desarrollo del proyecto.

Andrés Eduardo Quintero Montes.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la vida y las fuerzas para salir adelante frente a las adversidades.

A mi esposa María Isabel, por el apoyo constante y por regalarme a mi hija Lady Laura, la cual es el motivo de mi lucha constante.

A mis padres por su amor, a mi abuela Candelaria por sus cuidados y por los valores inculcados.

A la Universidad del Atlántico y sus docentes por todo lo aprendido en mi carrera.

Al proyecto Calenturitas por todas las enseñanzas y el apoyo en el desarrollo del proyecto.

Félix Leandro Jiménez Roa.

Contenido

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUCCIÓN | 16 |
| 2. OBJETIVOS..... | 17 |
| 2.1. OBJETIVOS GENERALES:..... | 17 |
| 2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS:..... | 17 |
| 3. MARCO TEÓRICO | 18 |
| 3.1. DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL | 18 |
| 3.1.1. Características generales de la distribución de Weibull. | 23 |
| 3.1.2. Características de la función de confiabilidad de Weibull..... | 24 |
| 3.1.3. Función de tasa de falla de Weibull..... | 24 |
| 3.2. EL CAMIÓN CATERPILLAR 777F | 26 |
| 3.2.1. Motor | 28 |
| 3.2.2. Tren de potencia. | 30 |
| 3.2.3. Transmisión..... | 31 |
| 3.2.4. Convertidor de torque..... | 32 |
| 3.2.5. Mandos Finales..... | 32 |
| 3.2.6. Sistema de Frenos | 32 |
| 3.2.7. Sistemas de información y control..... | 33 |
| 3.2.8. Sistemas de enfriamiento..... | 34 |
| 4. METODOLOGÍA | 37 |
| 5. ANÁLISIS DE VIDA DE LOS COMPONENTES DE ESTUDIO..... | 39 |
| 5.1. POBLACIÓN DE CAMIONES 777F DE LA MINA CALENTURITAS | 39 |
| 5.2. RECOLECCIÓN Y FILTRADO DE INFORMACIÓN | 41 |
| 5.3. ANÁLISIS DE DATOS VIDA DE MOTOR | 44 |
| 5.4. ANÁLISIS DE VIDA DE CONVERTIDOR DE TORQUE | 53 |

| | |
|---|-----|
| 5.5. ANÁLISIS DE VIDA DE TRANSMISIÓN..... | 62 |
| 5.6. ANÁLISIS DE VIDA DE DIFERENCIAL..... | 72 |
| 5.7. ANÁLISIS DE VIDA DE MANDOS FINALES..... | 81 |
| 5.8. RESUMEN ANÁLISIS DE DATOS DE VIDA DE COMPONENTES DE CAMIONES 777F MINA CALENTURITAS. | 93 |
| 5.9. SIMULACIÓN Y COMPARACIÓN | 93 |
| 6. CONCLUSIONES | 114 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 116 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Alcance óptimo para el mantenimiento preventivo..... | 19 |
| Figura 2. Curva de la bañera, relacionada con el parámetro β | 22 |
| Figura 3. Comportamiento de la distribución de Weibull para diferentes valores del parámetro β | 23 |
| Figura 4. Función de confiabilidad para diferentes valores de β y η | 24 |
| Figura 5. Función de tasa de falla Weibull para varios valores de β | 25 |
| Figura 6. Camión de acarreo 777F. | 26 |
| Figura 7. El Motor C32 Cat, con tecnología ACERT. | 29 |
| Figura 8. Tren de Potencia, localización de componentes. | 30 |
| Figura 9. Sistema de frenos CAT 777F. | 33 |
| Figura 10. Sistema de información y control VIMS. | 34 |
| Figura 11. Radiador modular 777F CAT. | 34 |
| Figura 12. Flujo de refrigerante en el motor. | 35 |
| Figura 13. Flujo del sistema de enfriamiento..... | 36 |
| Figura 14. Grafico para probabilidad de Weibull para vida de motor 777F. Noviembre 2008 – Marzo 2018..... | 48 |
| Figura 15. Gráfico de confiabilidad o supervivencia para vida de motor 777F. Noviembre 2008 – Marzo 2018..... | 50 |
| Figura 16. Gráfico de fallas acumuladas para vida de motor 777F. Noviembre 2008 – Marzo 2018..... | 51 |
| Figura 17. Gráfico de promedio móvil de los últimos 10 cambios de motor 777F. Noviembre 2008 – Marzo 2018..... | 52 |
| Figura 18. Grafico para probabilidad de Weibull para vida de convertidor 777F. Noviembre 2009 – Marzo 2018..... | 57 |
| Figura 19, Grafico de confiabilidad o supervivencia para vida de convertidor 777F. Noviembre 2009 – Marzo 2018..... | 59 |
| Figura 20. Gráfico de fallas acumuladas para vida de convertidor 777F. Noviembre 2009 – Marzo 2018..... | 60 |

| | |
|--|----|
| Figura 21. Gráfico de promedio móvil de los últimos 10 cambios de convertidor 777F. Noviembre 2009 – Marzo 2018..... | 61 |
| Figura 22. Grafico para probabilidad de Weibull para vida de transmisión 777F. Marzo 2009 – Marzo 2018 | 67 |
| Figura 23. Gráfico de confiabilidad o supervivencia para vida de transmisión 777F. Marzo 2009 – Marzo 2018 | 69 |
| Figura 24. Gráfico de fallas acumuladas para vida de transmisión 777F. Marzo 2009 – Marzo 2018..... | 70 |
| Figura 25. Gráfico de promedio móvil de los últimos 10 cambios de transmisión 777F. Marzo 2009 – Marzo 2018..... | 71 |
| Figura 26. Detalle de Diferenciales reparados | 72 |
| Figura 27. Grafico para probabilidad de Weibull para vida de diferencial 777F. Septiembre 2009 – Marzo 2018..... | 76 |
| Figura 28. Gráfico de confiabilidad o supervivencia para vida de diferencial 777F. Septiembre 2009 – Marzo 2018..... | 78 |
| Figura 29. Gráfico de fallas acumuladas para vida de diferencial 777F. Septiembre 2009 – Marzo 2018..... | 79 |
| Figura 30. Gráfico de promedio móvil de los últimos 10 cambios de diferencial 777F. Septiembre 2009 – Marzo 2018..... | 80 |
| Figura 31. Gráfico para probabilidad de Weibull para vida de mandos finales 777F. Mayo 2009 – Marzo 2018 | 88 |
| Figura 32. Gráfico de confiabilidad o supervivencia para vida de mandos finales 777F. Mayo 2009 – Marzo 2018..... | 90 |
| Figura 33. Gráfico de fallas acumuladas para vida de mandos finales 777F. Mayo 2009 – Marzo 2018..... | 91 |
| Figura 34. Gráfico de promedio móvil de los últimos 10 cambios de mando final 777F. Mayo 2009 – Marzo 2018 | 92 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|-----|
| Tabla 1. Los parámetros de Weibull. | 20 |
| Tabla 2. Características generales del Camión 777F. | 27 |
| Tabla 3. Características de Motor C32 ACERT. | 29 |
| Tabla 4. Velocidades de la Servo Transmisión. | 31 |
| Tabla 5. Población de camión 777F mina calenturitas | 39 |
| Tabla 6. Información de histórico de cambios componentes mayores 777F Calenturitas. | 42 |
| Tabla 7. Histórico de cambio de componente después de filtrar. | 42 |
| Tabla 8. Análisis de datos vida del Motor. | 44 |
| Tabla 9, Detalle de reemplazo de convertidores | 53 |
| Tabla 10. Detalle de las transmisiones reemplazadas | 62 |
| Tabla 11. Detalle histórico de cambio de Mandos Finales | 81 |
| Tabla 12. Resultados usando Weibull en componentes mayores camión 777F ... | 93 |
| Tabla 13. Resultados simulación cambio de frecuencia de reemplazo de componentes mayores 777F. | 94 |
| Tabla 14. Simulación y comparación de cambios de motor futuros hasta el fin del contrato. | 96 |
| Tabla 15. Simulación y comparación de cambios de convertidor futuros hasta el fin del contrato. | 99 |
| Tabla 16. Simulación y comparación de cambios de transmisión futuros hasta el fin del contrato. | 102 |
| Tabla 17. Simulación y comparación de cambios de diferencial futuros hasta el fin del contrato. | 105 |
| Tabla 18. Simulación y comparación de cambios de mando final izquierdo futuros hasta el fin del contrato. | 108 |
| Tabla 19. Simulación y comparación de cambios de mando final derecho futuros hasta el fin del contrato. | 111 |

LISTA DE ECUACIONES

| | |
|--|----|
| Ecuación 1. La función de la distribución de Weibull. | 20 |
| Ecuación 2. Tiempo medio a Falla..... | 21 |
| Ecuación 3. La función Weibull de densidad: | 23 |
| Ecuación 4. La función de la confiabilidad de Weibull. | 24 |
| Ecuación 5. Función de la Tasa de Falla | 25 |

RESUMEN

TÍTULO: ESTABLECIMIENTO DE LA VIDA OPTIMA DE COMPONENTES DE LA FLOTA 777F DE LA MINA CALENTURITAS USANDO WEIBULL. ¹

AUTORES:

ANDRÉS EDUARDO QUINTERO MONTES. ²

FÉLIX LEANDRO JIMÉNEZ ROA. ²

PALABRAS CLAVES:

CAMIÓN, WEIBULL, PRODECO, CALENTURITAS, VIDA DE COMPONENTES, VIDA UTIL, MANTENIMIENTO, CONFIABILIDAD.

DESCRIPCIÓN:

Una vez definido el contrato MARC se estipulan los estimados de vida de componentes mayores, estos datos son tomados de las bases de datos globales del fabricante de los equipos CATERPILLAR. De manera conjunta con los costos de administración del activo, se genera el costo de la hora de operación.

El objetivo del proyecto es establecer la vida óptima de componentes mayores de la flota de camiones 777F de la mina calenturitas. Esto se hará basado en el histórico de fallas desde el inicio del contrato hasta la fecha de realización del estudio, teniendo en cuenta las condiciones propias de la operación que generan modos de fallas, problemas de productos y actividades de mantenimiento. Con esto garantizamos unos ciclos de vida más llevados a la realidad de la operación, generando una mejora en los costos asociados del contrato. Como base de estudio se tomarán 58 camiones 777F que se encuentran actualmente en operación. Se analizarán las bases de datos de cambio de componentes mayores a través de una distribución de probabilidad Weibull. Se depurarán los cambios de componentes que fueron por factores externos al mantenimiento como abuso de operador, accidentes y cambios por garantía de fábrica. Una vez estos datos sean analizados por medio de un software de análisis estadístico, se generarán los nuevos ciclos de vida que serán actualizados en el plan de mantenimiento a largo plazo.

¹ Monografía de Grado

² Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Especialización en Gerencia de Mantenimiento, director de la Monografía Ing. Miguel Andrés Quiroga Palacios.

ABSTRACT

TÍTULO: OPTIMUM COMPONENTS LIFE ESTABLISHMENT OF 777F CALENTURITAS MINE SITE TRUCK FLEET USING WEIBULL.¹

AUTHOR:

ANDRÉS EDUARDO QUINTERO MONTES.²

FÉLIX LEANDRO JIMÉNEZ ROA.²

KEY WORDS:

TRUCK, WEIBULL, CALENTURITAS, COMPONENTS LIFE, USEFUL LIFE, MAINTENANCE, RELIABILITY.

DESCRIPTION:

Once the MARC contract is defined, the life estimates of major components are stipulated, these data are taken from the global databases of the manufacturer of the CATERPILLAR equipment. Together with the costs of asset management, the cost of the hour of operation is generated.

The objective of the project is to establish the optimum life of major components of the fleet of 777F trucks of the mine calenturitas. This will be done based on the fault history from the start of the contract until the date of the study, taking into account the conditions of the operation that generate failure modes, product problems and maintenance activities. With this we guarantee life cycles more taken to the reality of the operation, generating an improvement in the associated costs of the contract. 58 777F trucks currently in operation will be taken as the base of the study. The databases of change of major components will be analyzed through a Weibull probability distribution. Components changes that were due to factors external to maintenance such as operator abuse, accidents and changes due to factory warranty will be refined. Once these data are analyzed by means of statistical analysis software, the new life cycles that will be updated in the long-term maintenance plan will be generated.

¹ Monograph of degree.

² Mechanical Engineering School. Specialization in Maintenance Management. Director: Ing. Miguel Andrés Quiroga Palacios.

1. INTRODUCCIÓN

Relianz Mining Solutions, empresa dedicada de proveer soluciones sostenibles a la industria minera en Colombia. Tiene un contrato MARC (Maintenance and Repair Contract) de toda la maquinaria para la extracción de carbón de la mina calenturitas, propiedad de C.I PRODECO.

La maquinaria CATERPILLAR es mantenida por RELIANZ. Dentro de esta mantenibilidad se encuentra el programa de reemplazo de componentes mayores por horas de uso. Este target de cambio de componentes no está establecido por el fabricante.

El reemplazo de componentes es una de las principales tareas de mantenimiento preventivo. Con esta práctica se logra asegurar en gran porcentaje la confiabilidad y disponibilidad de los equipos. El fabricante plantea por manual de mantenimiento un target de cambio de componentes por horas, pero en los proyectos mineros este estimado debe ser reevaluado de acuerdo a las condiciones de trabajos que son cambiantes de acuerdo a la madurez de la operación minera.

Con base en el histórico de cambios de componentes, se puede plantear un análisis de las horas por medio de WEIBULL; de esta manera se podría tener unas horas de cambio llevadas al contexto operacional de proyectos mineros PRODECO.

Dentro del contexto se selecciona la flota de camiones modelo 777F del proyecto PRODECO CALENTURITAS, sobre la cual se realizara el análisis de la vida útil de los componentes mayores de acuerdo al entorno. Esta flota es la de mayor densidad de población en cuanto a equipo minero y la de mayor costo representado en cambio de componentes mayores.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVOS GENERALES:

Actualización del plan de mantenimiento preventivo enfocado en la vida útil de componentes mayores en la flota de camiones 777F.

2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Recopilar información histórica de la vida de componentes mayores en camiones 777F durante el periodo del contrato MARC.
- Validar información de fallas de los componentes mayores en la flota de camiones 777F.
- Aplicación de WEIBULL para estimación de vida de componentes mayores.
- Actualizar el plan de reemplazo de componentes basados en los estimados de vida calculados a través WEIBULL.

3. MARCO TEÓRICO

En mina Calenturitas, utilizando históricos en las bases de datos y con el objetivo principal de determinar la vida útil de los componentes principales en la flota de camiones 777F, se llevara a cabo el análisis de dichos datos utilizando la **Distribución Weibull**, la cual asociara las variables del tiempo de vida de los componentes de estudio.

3.1. DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL

El análisis de Weibull es una de las técnicas mayormente elegida para estimar una probabilidad, basada en datos medidos o asumidos. La distribución de Weibull, descubierta por el sueco **Waloddi Weibull** fue anunciada por primera vez en un escrito para el año de 1951. La distribución de Weibull es útil por su habilidad para simular un amplio rango de distribuciones como la Normal, la Exponencial, etc.

Esta aplicación reduce los costos, calibración de instrumentos, análisis de las mediciones propiedades de los materiales.

Calcula los tiempos óptimos para el mantenimiento.

Ayuda a tomar decisiones en diagnóstico y nuevas inversiones de proyectos.

Este método muestra la aplicación del análisis Weibull en computadoras, para reemplazarlos con laboriosos cálculos en hojas de cálculo y graficas manuales.

Ventajas:

Precisión razonable y precisa en el análisis de fallas.

Provee un simple y poderoso gráfico, medición de vida, arranques, paradas, operación, ciclos de misión vs. % acumulativo de fallas. Los parámetros β (Beta. A pendiente) proveen una filosofía de falla y η (ETA, característica de vida) tiempo de falla WEIBULL análisis está relacionado con el MTTF.

Distribución de una falla:

La pendiente de la gráfica de WEIBULL, β (Beta) se define como:

$\beta < 1.0$ Indica mortalidad infantil.

$\beta = 1.0$ Indica falla aleatoria.

$\beta > 1.0$ Indica falla por desgaste.

Se puede determinar los porcentajes de falla para definir por ejemplo el 1% de las fallas de una población el cual pueda fallar, es llamada β_1 .

$\beta_{0.1}$ = 0.1% de la población.

β_{10} = Determina el tiempo en el cual el 10% de la población pueda fallar.

La característica η es definida como la edad al cual el 63.2% de las unidades podrían fallar, entonces es determinada como β_{63} .

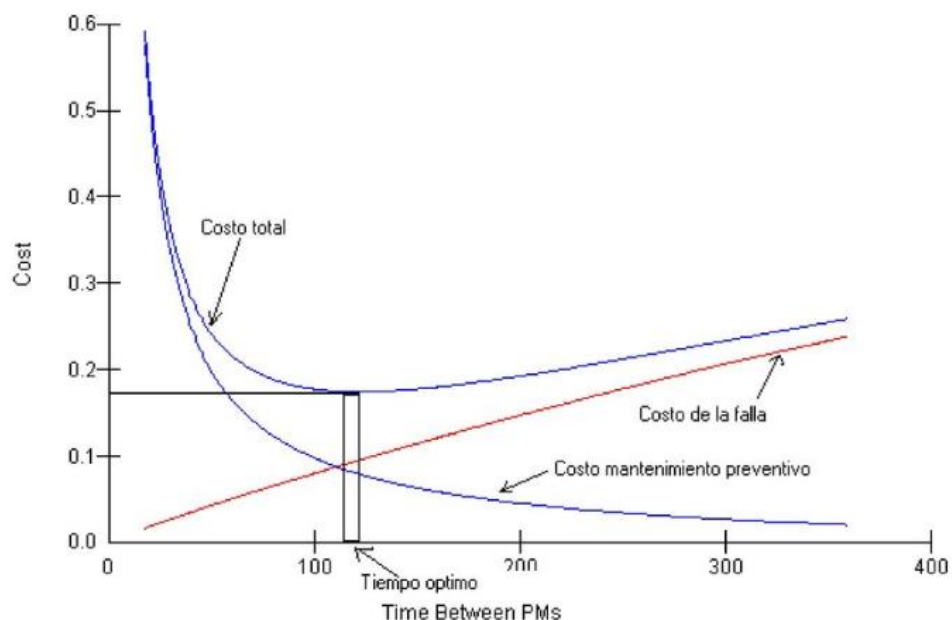
Pronóstico y predicción de fallas.

Cuando las fallas ocurren en servicio, es deseable calcular la probabilidad del número de fallas que podrían ocurrir en un próximo periodo de tiempo.

Algunos problemas en gráficos erróneos en Weibull son la información mal adquirida.

- Mezcla de modos de falla
- Problemas con el origen cero de la falla
- Datos manuales donde las edades de las partes son desconocidas
- Construcción de curvas Weibull donde no hay registro de fallas

Figura 1. Alcance óptimo para el mantenimiento preventivo.



Fuente. PERTUZ, Alberto, Estimación de Parámetros de Weibull.

Datos de Weibull

Los datos precisos para una distribución de Weibull son las “edades” de las partes, componentes o sistemas que fallan, estos datos pueden ser:

- Tiempos de operación de equipos (horas, días, kilómetros, etc)
- Arranques y paradas
- Lanzamientos de aviones o equipos militares
- Tiempos de almacenamiento
- Ciclos de fatiga
- Ciclos de alto stress
- Altas temperaturas y muchos otros parámetros

A continuación la Tabla 1 que muestra las fases de la curva de la bañera, función de la distribución de Weibull.

Tabla 1. Los parámetros de Weibull.

| Componente (β) | Característica |
|------------------------|---------------------|
| $\beta < 1$ | Mortalidad Infantil |
| $\beta = 1$ | Fallas aleatorias |
| $\beta > 1$ | Fallas por Desgaste |

Fuente. ABERNETHY, Robert. Análisis de Weibull.

La η (eta) y β (beta)

Los parámetros β y η de la distribución Weibull son los valores usados para el análisis de la vida de los componentes.

Ecuación 1. La función de la distribución de Weibull.

$$F(t) = 1 - e^{-(t/\eta)^\beta}$$

Fuente. PERTUZ, Alberto, Estimación de Parámetros de Weibull.

Donde:

- $F(t)$ = Función de la distribución acumulada
- t = Tiempo de la falla
- η = Característica de vida
- β = Parámetro forma o pendiente
- $e = 2.718281828$, base de logaritmo natural

β , muestra la clase de falla, como son mortalidad infantil, aleatoria o desgaste. También es llamado el parámetro forma porque determina la familia o el tipo de distribución.

η , es el parámetro vida y es igual al tiempo promedio para la falla (Mean Time To Failure MTTF) cuando β es igual a 1. La relación entre η y el MTTF es la función gamma de β .

Ecuación 2. Tiempo medio a Falla.

$$MTTF = \eta \Gamma(1 + 1/\beta)$$

Fuente. PERTUZ, Alberto, Estimación de Parámetros de Weibull.

- Cuando $\beta = 1.0$, $MTTF = \eta$, es una distribución
- Cuando $\beta > 1.0$, $MTTF$ es menor que η
- Cuando $\beta < 1.0$, $MTTF$ es mayor que η
- Cuando $\beta = 0.5$, $MTTF = 2\eta$
-

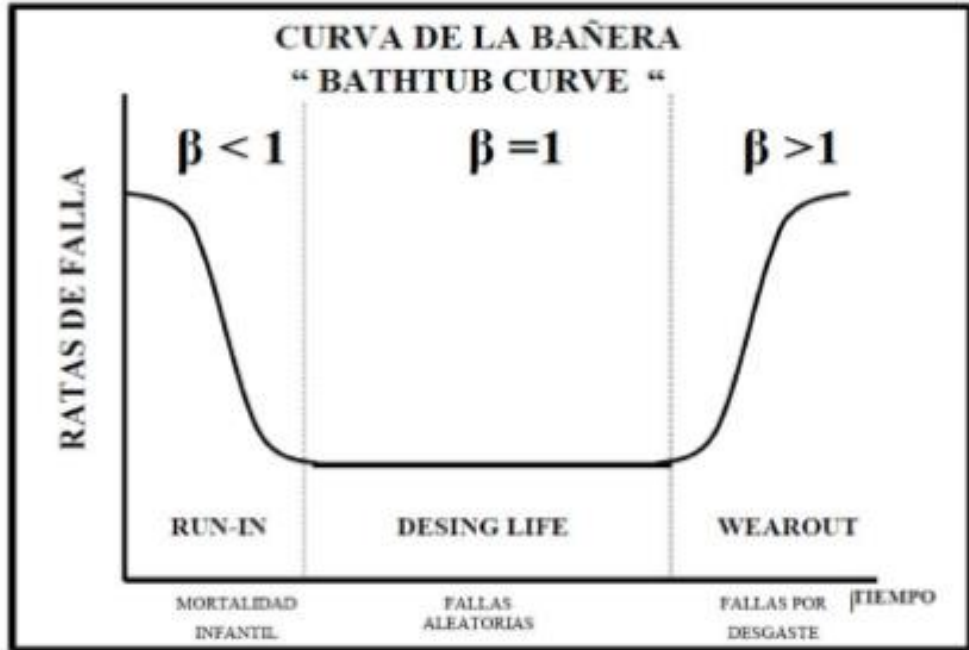
Interpretación del gráfico de Weibull

La curva de la bañera puede ayudar a entender la relación entre β y los mecanismos de falla a través de la vida de un componente.

Weibull provee una pista acerca de los mecanismos de falla, con las diferentes pendientes o parámetro de forma, implicando en las diferentes formas de falla

Figura 2. Curva de la bañera, relacionada con el parámetro β .

Curva de la bañera



Fuente. PERTUZ, Alberto, Estimación de Parámetros de Weibull.

Mortalidad infantil.

Se representan por la primera parte de la curva, las tasas de fallas están asociadas con el equipo nuevo y pueden ser causadas por partes faltantes, falta de capacitación de las personas que instalan el equipo, daños causados a los dispositivos, o fallas por defectos de fabricación.

Fallas aleatorias.

Son inesperadas y pueden ocurrir por sobrecargas o averías, causadas por factores externos que generan las fallas aun en las piezas mejor construidas. Se representa por una línea horizontal, lo que quiere decir que cualquier miembro de la población de componentes tiene la misma probabilidad de sufrir una falla.

Fallas por desgaste u obsolescencia.

Son las fallas debido a la obsolescencia por la edad, fatiga, corrosión, deterioro mecánico, eléctrico, hidráulico o por el bajo nivel de mantenimiento y reparación.

3.1.1. Características generales de la distribución de Weibull.

Ecuación 3. La función Weibull de densidad:

$$f(T) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{T - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{T - \gamma}{\eta} \right)^{\beta}}$$

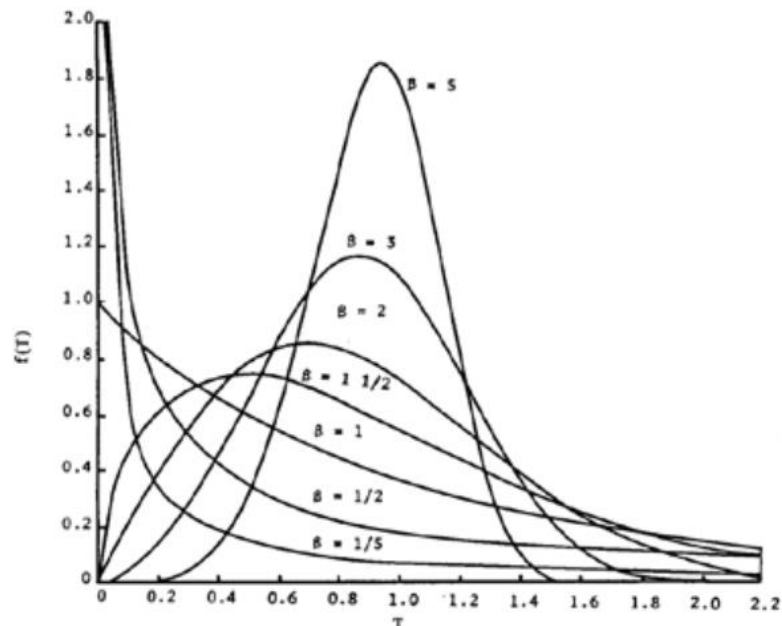
Fuente. DHILLON, B,S, Design Reliability Fundamentals and Applications 1999.

β - Parámetro de forma – Es indicador del mecanismo de falla

η - Parámetro de escala – Vida característica

γ - Parámetro de localización – Vida mínima

Figura 3. Comportamiento de la distribución de Weibull para diferentes valores del parámetro β .



Fuente. DHILLON, B,S, Design Reliability Fundamentals and Applications 1999.

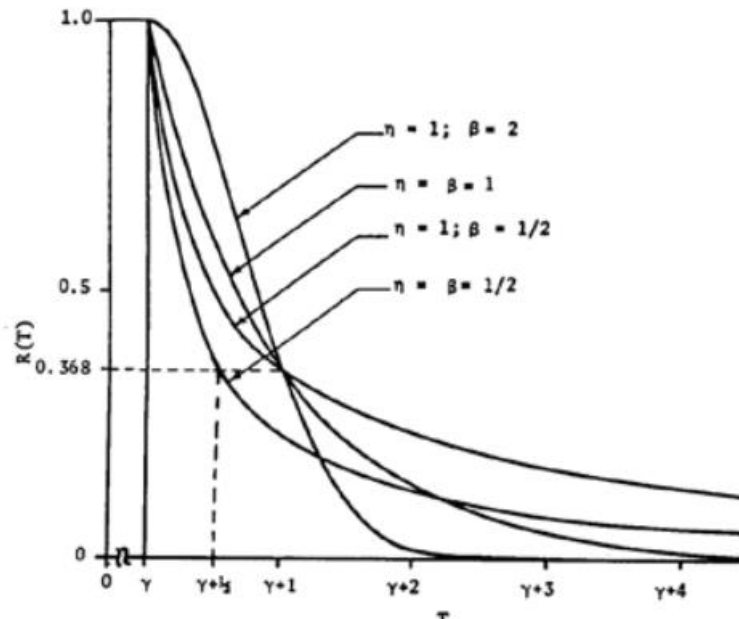
3.1.2. Características de la función de confiabilidad de Weibull.

Ecuación 4. La función de la confiabilidad de Weibull.

$$R(T) = e^{-\left(\frac{T-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

Fuente. DHILLON, B,S, Design Reliability Fundamentals and Applications 1999.

Figura 4. Función de confiabilidad para diferentes valores de β y η .



Fuente. DHILLON, B,S, Design Reliability Fundamentals and Applications 1999.

3.1.3. Función de tasa de falla de Weibull.

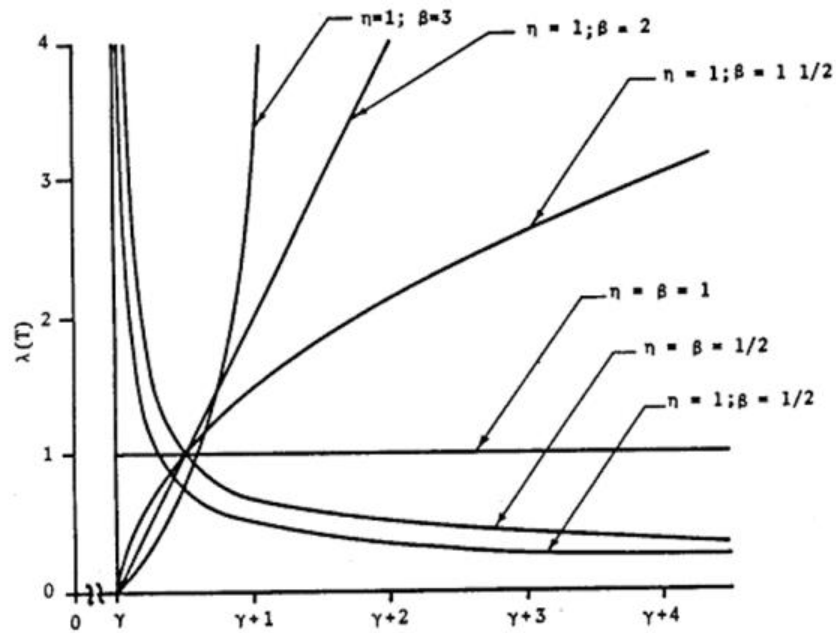
La función de tasa de falla de Weibull Se muestra en la ecuación (3) y figura (4).

Ecuación 5. Función de la Tasa de Falla

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{T - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} = \frac{f(T)}{R(T)}$$

Fuente. DHILLON, B,S, Design Reliability Fundamentals and Applications 1999.

Figura 5. Función de tasa de falla Weibull para varios valores de β .



Fuente. DHILLON, B,S, Design Reliability Fundamentals and Applications 1999.

3.2. EL CAMIÓN CATERPILLAR 777F

Figura 6. Camión de acarreo 777F.



Fuente. SERV1828-01 Caterpillar Service Training 777F.

El camión de acarreo 777F es una máquina para movimiento de tierras. El 777F se clasifica como un camión articulado (Dúmper) según la norma ISO 6165:2001. Esta es una máquina autopropulsada con ruedas, con un bastidor rígido y dirección en ruedas. Este camión tiene una caja abierta destinada para las siguientes aplicaciones:

Transportar material suelto

Descargar material suelto

Se muestra el lado derecho de un camión 777F, el tanque de combustible. El camión 777F viene de serie con frenos de disco múltiple enfriado por aceite, delantero y trasero. Los frenos de disco tipo pinza están disponibles como una opción.

Las principales características añadidas al Camión 777F son: la nueva cabina, el Messenger o el Asesor de VIMS sistema de monitoreo, el motor y sistema de enfriamiento C32 ACERT™ conforme a Tier 2, el ECPC transmisión y los frenos hidráulicos.

Algunas de las especificaciones del Camión 777F son:

- Prefijo de número de serie: JRP
- Peso en vacío: 73976 kg (163090 lb)
- Capacidad de carga: 90,9 toneladas (100 toneladas)
- Peso bruto de la máquina (GMW): 163293 kg (360000 lb)
- Longitud: 10.5 m (34.5 pies)
- Ancho de operación: 6.5 m (21.3 pies)
- Altura: 5.2 m (17.0 pies)
- Altura de la carrocería: 10,4 m (34,0 pies)
- Velocidad máxima, cargada: 64.5 km / h (40.1 mph)

Tabla 2. Características generales del Camión 777F.

| CARACTERISTICAS | | |
|---|---------------------------|----------------------|
| Modelo de Motor | C32 ACERT CAT | |
| Potencia Bruta | SAE J1995 758kW - 1.016hp | |
| Potencia Neta | SAE J1349 700kW - 938hp | |
| Peso Bruto de la maquina | 163.293 kg - 360.000lb | |
| ESPECIFICACIONES EN ORDEN DE TRABAJO | | |
| Capacidad nominal de carga útil | 90,9 toneladas métricas | 100 toneladas cortas |

Fuente. SERV1828-01 Caterpillar Service Training 777F.

El camión 777F CAT se divide en varios sistemas Básicos:

- Motor
- Tren de Potencia (Transmisión, Convertidor y Mandos finales).
- Frenos
- Eléctrico
- Enfriamiento
- Levante
- Dirección

3.2.1. Motor

El motor C32 Cat® con tecnología ACERT™ usa tecnología avanzada del motor que reduce las emisiones sin necesidad de pos-tratamiento. El motor de 12 cilindros con turbo compresión y pos enfriamiento, tiene mayor potencia y una respuesta más rápida, que proporciona un rendimiento superior en aplicaciones exigentes.

Con tecnología ACERT™. Con el motor C32, Caterpillar optimiza el rendimiento y cumple las normas Tier 2 de EPA de los EE.UU. y Etapa II de la Unión Europea. La tecnología ACERT™ reduce las emisiones durante el proceso de combustión, usando tecnología avanzada en los sistemas de aire y de combustible, junto con la electrónica integrada. Caterpillar cumple con las normas de emisiones en la fuente de combustión, en lugar de reciclar los gases de escape.

El Motor C32 Cat, con tecnología ACERT, está diseñado para suministrar mayor potencia, fiabilidad y eficiencia, lo que proporciona un rendimiento superior en las aplicaciones más difíciles.

Figura 7. El Motor C32 Cat, con tecnología ACERT.



Fuente. SERV1828-01 Caterpillar Service Training 777F.

Tabla 3. Características de Motor C32 ACERT.

| MOTOR | | |
|-------------------------------------|---------------|-------------------------|
| Modelo del Motor | C32 ACERT Cat | |
| Potencia Bruta - SAE J1995 | 758 kW | 1.016 hp |
| Potencia Neta - SAE J1349 | 700 kW | 938 hp |
| Potencia Neta - ISO 9249 | 700 kW | 938 hp |
| Potencia Neta - ELEC 80/1269 | 700 kW | 938 hp |
| Número de Cilindros | 12 | |
| Máx. Par | 4.716 N.m | 3.478 lb pie |
| Calibre | 145mm | 5,7 pulg |
| Carrera | 162mm | 6,4 pulg |
| Cilindrada | 32,1 L | 1.959 pulg ³ |

Fuente. SERV1828-01 Caterpillar Service Training 777F.

3.2.2. Tren de potencia.

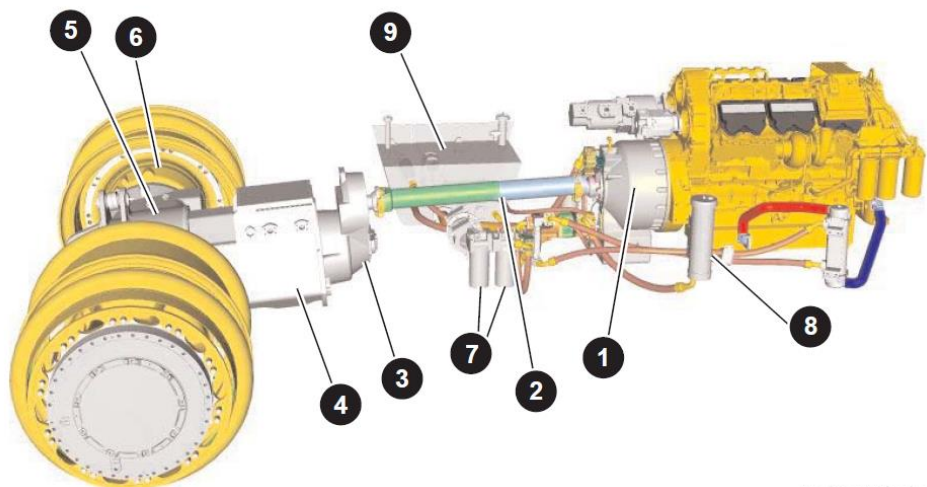
El tren de fuerza CAT, compuesto por Convertidor, Transmisión, mandos finales, embragues y frenos; suministrara más potencia para el desplazamiento, lo que significa una mayor productividad y menores costos de operación.

El tren de fuerza mecánico y la servo-transmisión Cat proporcionan eficiencia y control de operación sin igual en pendientes muy inclinadas, en condiciones de suelo deficientes y en caminos de acarreo con alta resistencia a la rodadura.

Integración del tren de Potencia:

El sistema combina electrónicamente los componentes principales del tren de fuerza para trabajar de forma más inteligente y optimizar el rendimiento general del camión.

Figura 8. Tren de Potencia, localización de componentes.



Activar Window

Fuente. SERV1828-01 Caterpillar Service Training 777F.

El tren de potencia de camiones fuera de carretera 777F está controlado electrónicamente. Los Transmisión / Chasis ECM controla el cambio de transmisión ECPC y el convertidor de par. La transmisión tiene siete velocidades hacia adelante y una hacia atrás. La potencia fluye del motor a las ruedas traseras a través del tren de potencia. El tren de fuerza principal los componentes son:

Convertidor de par (1)

Eje de transmisión (2)

Transferencia de marchas (3)

Transmisión (4)

Diferencial (5)

Unidades finales (6)

Otros componentes del tren de potencia visibles en esta ilustración son los filtros de carga de transmisión (7), filtro de carga del convertidor de par (8) y tanque hidráulico de dos secciones (9).

3.2.3. Transmisión.

La combinación de la servo-transmisión planetaria Caterpillar de siete velocidades y el motor diésel C32 con tecnología ACERT, proporciona potencia constante en una amplia gama de velocidades de operación, lo que permite un rendimiento óptimo del tren de fuerza.

Mayor vida Útil. Un tanque y circuito de aceite especiales proporcionan aceite más frío y limpio para rendimiento máximo y mayor útil de los componentes.

Control de la Transmisión y Chasis. (TCC). El TCC usa los datos de las rpm del motor, transferidos electrónicamente, para ejecutar cambios en puntos preestablecidos para obtener rendimiento, eficiencia y vida útil del embrague óptimos.

Tabla 4. Velocidades de la Servo Transmisión.

| TRANSMISIÓN | | |
|------------------|----------|----------|
| Avance 1 | 10,5 kph | 6,5 mph |
| Avance 2 | 14,2 kph | 8,9 mph |
| Avance 3 | 19,3 kph | 12 mph |
| Avance 4 | 26,1 kph | 16,2 mph |
| Avance 5 | 35,4 kph | 22 mph |
| Avance 6 | 47,6 kph | 29,6 mph |
| Avance 7 | 64,5 kph | 40,1 mph |
| Retroceso | 12,1 kph | 7,5 mph |

Fuente. SERV1828-01 Caterpillar Service Training 777F.

3.2.4. Convertidor de torque.

Convertidor de par de traba. Combina la fuerza de tracción máxima y cambios amortiguados del mando del convertidor de par con la eficiencia y el rendimiento del mando directo. El convertidor de par de traba se conecta en aproximadamente 8 km/h (5 millas/h), proporcionando más potencia a las ruedas.

- **Embrague de traba.** Se desconecta y conecta rápidamente para reducir las cargas de par del tren de fuerza permitiendo cambios más suaves, larga vida útil y un desplazamiento suave.
- **Sistema ECPC (Control de Presión del Embrague Electrónico).** El Sistema ECPC modula la conexión del embrague individualmente, lo que permite cambios más suaves de velocidad y dirección. El Sistema ECPC proporciona controles para el embrague de traba del convertidor de par y los embragues de la transmisión, los cuales se ajustan para cada cambio ascendente o descendente, lo que permite al operador un mejor desplazamiento y menor fatiga.

3.2.5. Mandos Finales

Mandos finales. Los mandos finales trabajan como un sistema con el servo-transmisión planetaria para entregar máxima potencia en el desplazamiento. Gracias a que están diseñados para resistir las fuerzas de par y cargas de impacto altos, los mandos finales de reducción doble permiten una multiplicación del par alto para reducir aún más los esfuerzos del tren de fuerza.

3.2.6. Sistema de Frenos

Un frenado fiable y un control superior proporcionan al operador la confianza para concentrarse en la productividad.

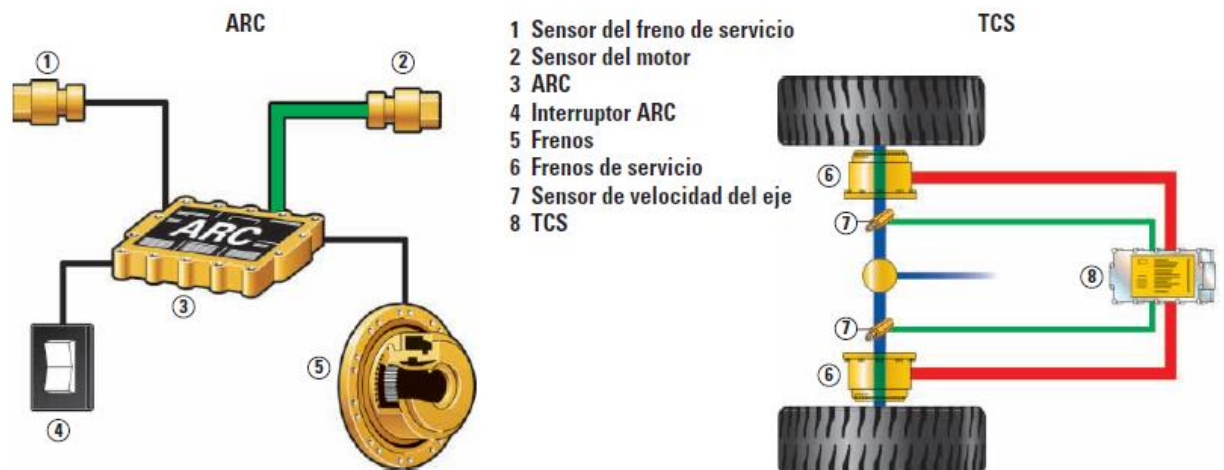
Mayor vida útil. La presencia de una película de aceite evita el contacto directo entre los discos. Este diseño absorbe las fuerzas de frenado, cizallando las moléculas de aceite y eliminando el calor para aumentar la vida útil del freno.

Sistema de Frenado Integrado (IBS). El sistema de frenado enfriado por aceite Cat proporciona un rendimiento y un control fiables en las condiciones más extremas de caminos de acarreo. El sistema integrado combina los frenos de servicio, secundarios y de estacionamiento y las funciones de retardo en un mismo sistema para lograr una eficiencia de frenado óptima.

Control del Retardador Automático (ARC). El ARC estándar controla electrónicamente el frenado en pendiente para mantener el motor a aproximadamente 1.900 rpm (ajustables desde 1.850 a 1.950 rpm en incrementos de 10). El ARC se desactiva cuando el operador aplica los frenos o el acelerador.

Sistema de Control de Tracción (TCS) (optativo). Vigila y controla electrónicamente el deslizamiento de las ruedas traseras para obtener una mayor tracción y un mayor rendimiento del camión en condiciones de suelo deficientes. Si el deslizamiento supera un límite fijado, los frenos de disco enfriados por aceite se conectan para disminuir la velocidad de la rueda que gira. Entonces, el par se transfiere a la rueda que tiene mejor tracción.

Figura 9. Sistema de frenos CAT 777F.

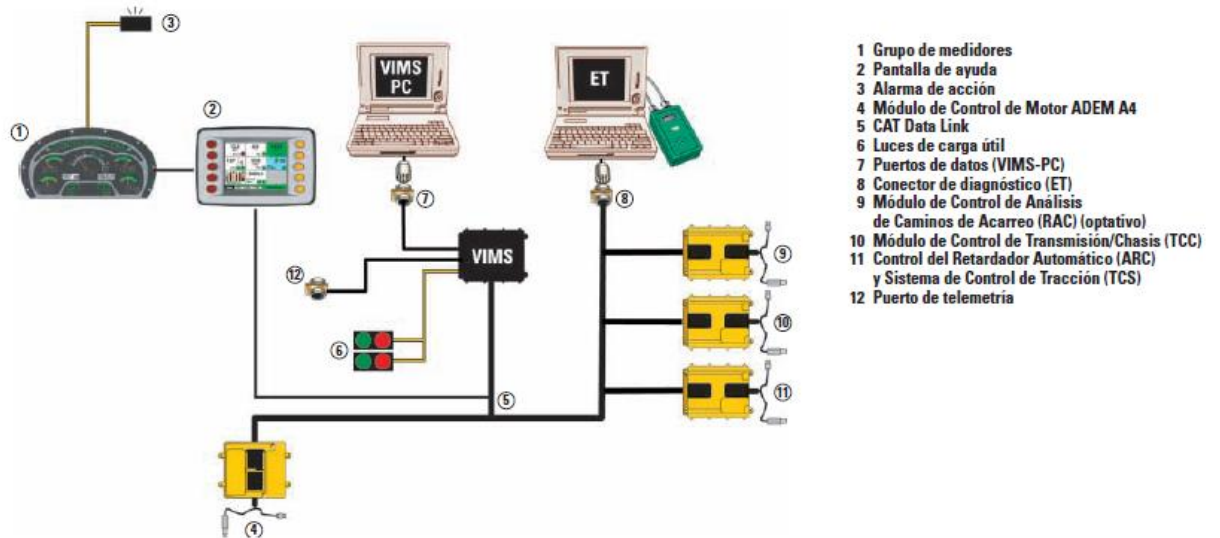


Fuente. SERV1828-01 Caterpillar Service Training 777F.

3.2.7. Sistemas de información y control

Los datos vitales sobre el estado y carga útil de la máquina permiten que el camión 777F trabaje en niveles de producción máxima.

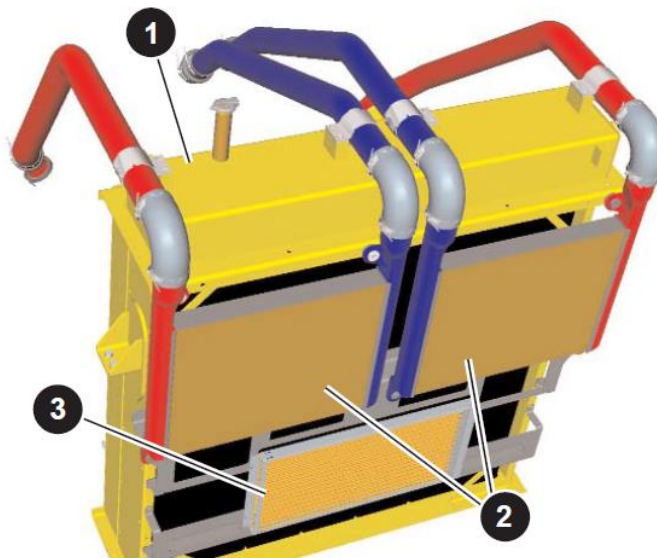
Figura 10. Sistema de información y control VIMS.



Fuente. SERV1828-01 Caterpillar Service Training 777F 2007.

3.2.8. Sistemas de enfriamiento

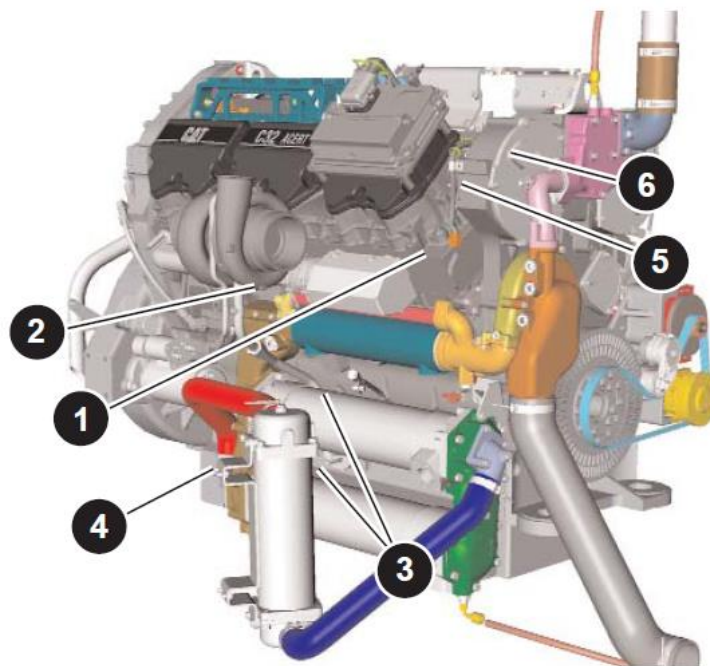
Figura 11. Radiador modular 777F CAT.



Fuente. SERV1828-01 Caterpillar Service Training 777F 2007.

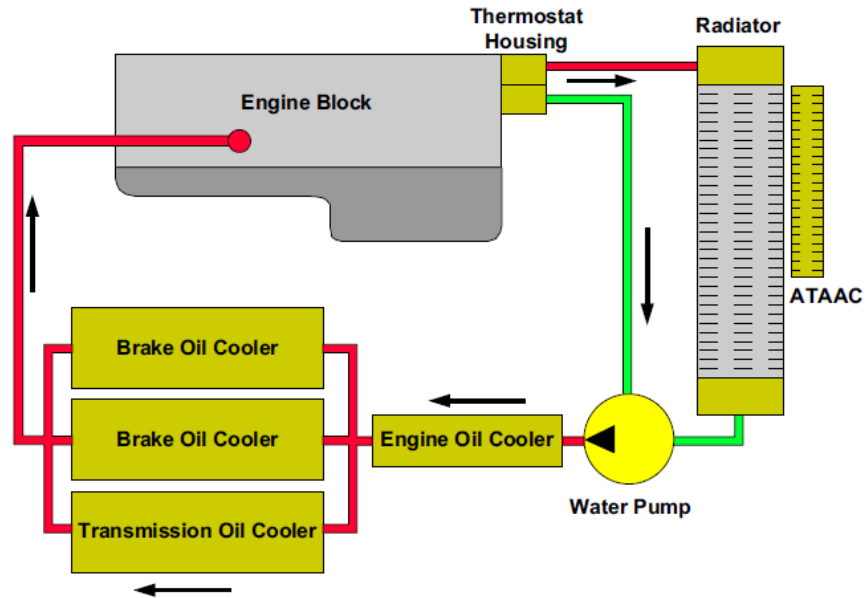
El sistema de enfriamiento en el 777F utiliza un radiador modular de última generación (NGMR). El NGMR (1) es un diseño de flujo de paso único, que reemplaza el núcleo doblado de flujo de dos pasadas sistema. El refrigerante entra por la parte superior izquierda y fluye por la parte inferior derecha, similar a un automóvil. Siendo modular, los núcleos individuales se pueden quitar para el servicio mientras el radiador permanece en su lugar. El sistema de enfriamiento del post-enfriador en el 777F es ahora un sistema ATAAC. La ATAAC los núcleos (2) están ubicados frente al radiador. El aire de admisión se enfría después de ser comprimido por el turbocompresor antes de ser enrutado a la cámara de combustión del motor. También se ve en esta ilustración el condensador de aire acondicionado (3).

Figura 12. Flujo de refrigerante en el motor.



Fuente. SERV1828-01 Caterpillar Service Training 777F 2007.

Figura 13. Flujo del sistema de enfriamiento.



Fuente. SERV1828-01 Caterpillar Service Training 777F 2007.

El refrigerante de agua de la camisa fluye desde la bomba de agua (1) a través del enfriador de aceite del motor (2), a través de los dos enfriadores de aceite de los frenos (3) y el enfriador de aceite de la transmisión (4) a ambos lados del motor. El refrigerante fluye a través del bloque del motor a las culatas; Desde el culatas, el refrigerante fluye hacia los dos reguladores de temperatura y, a partir del refrigerante la temperatura fluye hacia el radiador (si está caliente) o a través del tubo de derivación (5) hacia el agua bomba (si está fría) para recircular hasta que el motor alcance la temperatura de funcionamiento.

Los termostatos están ubicados en la carcasa del termostato (6) en la parte superior del tubo de derivación. La ilustración inferior muestra un esquema del flujo de refrigerante.

4. METODOLOGÍA

La monografía se desarrollara en 4 pasos fundamentales para el análisis de los datos de estudio.



La identificación y recopilación de datos se realizara por medio del software de mantenimiento de la empresa Relianz. En este software se encuentran el histórico de cambio de componentes para toda la flota 777F desde el momento del inicio del proyecto hasta la fecha actual de estudio.

Se procederá a tomar los componentes mayores de la flota como son: Motor, convertidor de torque, transmisión, diferencial, mandos finales. En estos casos se tiene la vida del componente tomada del software de mantenimiento y del teórico dictado por el fabricante del equipo.

Como segundo paso se tiene la depuración de datos, consiste en la agrupación del conjunto de datos y encontrar las características relevantes para un correcto análisis, sin alterar dicho análisis de resultados. Se debe encontrar la coherencia propia y ambiente correcto enmarcado en el proyecto. En este caso se tomaran los datos de vida de componentes que generen un ruido en el análisis como componentes en periodo de garantía, fallas inducidas por re- trabajos y componentes mayores con horas sobre extendidas.

Como tercer paso se tiene el análisis de datos, el cual se va a realizar por medio de un software para la ejecución de funciones estadísticas aplicadas en este caso al desarrollo de Weibull para los datos recopilados. El programa nos arrojará basado en los datos de vida útil por falla de los componentes, una probabilidad de falla que nos dicta el factor de escala o la vida estimada de acuerdo al análisis.

Como cuarto paso se tiene las conclusiones de los datos, basado en los datos arrojados por el software de estadístico, se realizara la actualización del plan de

estimados de componentes en la planeación de mantenimiento de la flota destino del estudio con el fin de mejorar los costos asociados al programada de cambio de componentes mayores programados.

5. ANÁLISIS DE VIDA DE LOS COMPONENTES DE ESTUDIO

La flota de estudio son los componentes mayores de la flota de camiones Caterpillar 777F de la mina calenturitas, propiedad de la empresa PRODECO. Estos camiones se encuentran bajo un contrato de reparación y mantenimiento (MARC), con la empresa Relianz Mining Solutions

5.1. POBLACIÓN DE CAMIONES 777F DE LA MINA CALENTURITAS

En la mina calenturitas actualmente se encuentran 58 camiones en operación, los cuales fueron el objeto de estudio. Estos se encuentran bajo contrato de mantenimiento y reparación de componentes con la empresa PRODECO.

A continuación en la siguiente tabla se listaran los equipos con su respectiva identificación interna de la mina, el serial de maquina dado por fábrica, la fecha de inicio de operación y el horómetro del equipo a corte 01/Abril/2018.

Tabla 5. Población de camión 777F mina calenturitas

| POBLACIÓN EQUIPOS 777F CALENTURITAS | | | | |
|--|-----------------------|---------------|-------------------------------|-----------------------------|
| CANTIDAD | IDENTIFICACIÓN | SERIAL | FECHA INICIO OPERACIÓN | HOROMETRO 01/05/2018 |
| 1 | DT329 | 0JRP00715 | 01/Dec/2007 | 55197 |
| 2 | DT330 | 0JRP00790 | 01/Dec/2007 | 55404 |
| 3 | DT331 | 0JRP00791 | 01/Dec/2007 | 48347 |
| 4 | DT332 | 0JRP00833 | 01/Dec/2007 | 54035 |
| 5 | DT333 | 0JRP00884 | 01/Dec/2007 | 51971 |
| 6 | DT334 | 0JRP00885 | 01/Dec/2007 | 49981 |
| 7 | DT335 | 0JRP00911 | 01/Dec/2007 | 52768 |
| 8 | DT336 | 0JRP00912 | 01/Dec/2007 | 50447 |
| 9 | DT338 | 0JRP00944 | 01/Dec/2007 | 50614 |
| 10 | DT339 | 0JRP00950 | 01/Dec/2007 | 50691 |
| 11 | DT340 | 0JRP00951 | 01/Dec/2007 | 50606 |

| | | | | |
|----|-------|-----------|-------------|-------|
| 12 | DT341 | OJRP00969 | 01/Dec/2007 | 52245 |
| 13 | DT342 | OJRP00970 | 01/Dec/2007 | 48442 |
| 14 | DT343 | OJRP01667 | 30/Dec/2008 | 56769 |
| 15 | DT344 | OJRP01668 | 30/Dec/2008 | 57768 |
| 16 | DT345 | OJRP01669 | 05/Jan/2009 | 58066 |
| 17 | DT346 | OJRP01675 | 28/Jan/2009 | 56901 |
| 18 | DT347 | OJRP01676 | 28/Jan/2009 | 57282 |
| 19 | DT348 | OJRP01682 | 27/Jan/2009 | 56495 |
| 20 | DT350 | OJRP01797 | 06/Jan/2009 | 51500 |
| 21 | DT351 | OJRP01798 | 08/Jan/2009 | 54332 |
| 22 | DT352 | OJRP01904 | 15/Feb/2009 | 44538 |
| 23 | DT353 | OJRP01905 | 13/Feb/2009 | 50541 |
| 24 | DT354 | OJRP01907 | 11/Feb/2009 | 50247 |
| 25 | DT355 | OJRP01915 | 25/Feb/2009 | 44343 |
| 26 | DT356 | OJRP01916 | 23/Feb/2009 | 49605 |
| 27 | DT357 | OJRP01917 | 22/Feb/2009 | 47200 |
| 28 | DT358 | OJRP01923 | 21/Feb/2009 | 47196 |
| 29 | DT359 | OJRP01955 | 06/May/2009 | 47153 |
| 30 | DT360 | OJRP01971 | 28/Apr/2009 | 44314 |
| 31 | DT361 | OJRP01979 | 03/Apr/2009 | 45250 |
| 32 | DT362 | OJRP01980 | 08/Apr/2009 | 54315 |
| 33 | DT363 | OJRP01983 | 07/Apr/2009 | 48734 |
| 34 | DT364 | OJRP01984 | 29/Mar/2009 | 45955 |
| 35 | DT365 | OJRP01985 | 27/Mar/2009 | 48423 |
| 36 | DT366 | OJRP01986 | 30/Apr/2009 | 47034 |
| 37 | DT367 | OJRP01987 | 29/Apr/2009 | 46730 |
| 38 | DT368 | OJRP01988 | 11/Apr/2009 | 46451 |
| 39 | DT370 | OJRP01990 | 16/Apr/2009 | 49337 |
| 40 | DT379 | OJRP02253 | 22/Apr/2010 | 50781 |
| 41 | DT380 | OJRP02254 | 24/Apr/2010 | 50500 |
| 42 | DT381 | OJRP02255 | 29/Apr/2010 | 47377 |
| 43 | DT384 | OJRP02382 | 22/Sep/2010 | 48367 |
| 44 | DT412 | OJRP02572 | 18/Feb/2011 | 41653 |
| 45 | DT413 | OJRP02573 | 02/Feb/2011 | 36383 |
| 46 | DT414 | OJRP02581 | 12/Feb/2011 | 40682 |
| 47 | DT415 | OJRP02590 | 15/Feb/2011 | 41010 |
| 48 | DT416 | OJRP02673 | 15/Apr/2011 | 39616 |
| 49 | DT417 | OJRP02675 | 13/Apr/2011 | 39736 |
| 50 | DT418 | OJRP02677 | 13/Apr/2011 | 41927 |

| | | | | |
|----|-------|-----------|-------------|-------|
| 51 | DT419 | OJRP02679 | 18/Apr/2011 | 39047 |
| 52 | DT420 | OJRP02726 | 26/Apr/2011 | 40547 |
| 53 | DT421 | OJRP02730 | 04/May/2011 | 41521 |
| 54 | DT422 | OJRP02737 | 24/Apr/2011 | 38570 |
| 55 | DT423 | OJRP02739 | 25/May/2011 | 43902 |
| 56 | DT424 | OJRP02772 | 23/May/2011 | 43340 |
| 57 | DT425 | OJRP02794 | 01/Jun/2011 | 43555 |
| 58 | DT426 | OJRP02796 | 21/Jun/2011 | 39592 |

Fuente: Información Software Mantenimiento AMT – Relianz Calenturitas

5.2. RECOLECCIÓN Y FILTRADO DE INFORMACIÓN

Los componentes de la flota de camiones 777F, los cuales son objeto de estudio para el análisis de vida de componentes utilizando la distribución de Weibull son los siguientes:

- Motor
- Convertidor
- Transmisión
- Diferencial
- Mandos finales

Estos componentes son los elegidos debido a que son los de mayor costo de mantenimiento por hora de operación en el contrato de mantenimiento y reparación. Estos componentes si no se tiene control con el reemplazo, pueden impactar negativamente los balances financieros del contrato MARC.

La recolección de la información histórica de los cambios de componentes mayores de la flota 777F, fueron tomados del software de mantenimiento AMT – iSolutions, que se encuentra licenciado exclusivo para Dealers Caterpillar. Este contiene la información histórica de los cambios de componentes mayores y menores de cada uno de los equipos mencionados. Al momento de obtener la información de cada uno de los componentes, se procede a realizar el filtrado de los datos de falla. Se

removieron los datos de fallas por debajo de las 6000 horas de operación, los cuales se encuentran dentro del periodo de garantía dado por el programa de reconstrucción de componentes por parte de Relianz y por parte de la garantía de Caterpillar. De igual manera se remueven los datos de componentes fallados por problemas de operación y daños causados por eventos por parte del cliente.

La siguiente tabla nos muestra la recopilación de datos de falla de componentes desde el inicio del contrato antes de filtrar por las condiciones anteriormente dadas.

Tabla 6. Información de histórico de cambios componentes mayores 777F Calenturitas.

| HISTORICO DE CAMBIO DE COMPONENTES ANTES DE FILTRAR | | | | | | |
|---|----------|---------------|---------------|---------------|----------------|------------|
| COMPONENTE | CANTIDAD | PRIMER CAMBIO | ULTIMO CAMBIO | VIDA PROMEDIO | PROYECCION LCC | DIFERENCIA |
| MOTOR | 176 | 11/03/2008 | 07/03/2018 | 12282 | 15000 | -2718 |
| CONVERTIDOR | 149 | 12/03/2008 | 12/03/2018 | 14811 | 15000 | -189 |
| TRANSMISION | 269 | 13/03/2009 | 24/03/2018 | 8954 | 15000 | -6046 |
| DIFERENCIAL | 131 | 27/08/2008 | 15/03/2018 | 16630 | 15000 | 1630 |
| MANDO FINAL | 292 | 07/01/2009 | 18/03/2018 | 15133 | 12000 | 3133 |

Fuente: Información Software Mantenimiento AMT – Relianz Calenturitas

La siguiente tabla nos muestra la recopilación de datos de falla de componentes desde el inicio del contrato después de filtrar por las condiciones anteriormente dadas.

Tabla 7. Histórico de cambio de componente después de filtrar.

| HISTORICO DE CAMBIO DE COMPONENTES DESPUES DE FILTRAR | | | | | | |
|---|----------|---------------|---------------|---------------|----------------|------------|
| COMPONENTE | CANTIDAD | PRIMER CAMBIO | ULTIMO CAMBIO | VIDA PROMEDIO | PROYECCION LCC | DIFERENCIA |
| MOTOR | 138 | 30/11/2008 | 07/03/2018 | 14434 | 15000 | -566 |
| CONVERTIDOR | 130 | 28/11/2009 | 12/03/2018 | 16411 | 15000 | 1411 |
| TRANSMISION | 167 | 13/03/2009 | 24/03/2018 | 11707 | 15000 | -3293 |
| DIFERENCIAL | 116 | 04/09/2009 | 15/03/2018 | 18095 | 15000 | 3095 |
| MANDO FINAL | 242 | 18/05/2009 | 18/03/2018 | 16909 | 12000 | 4909 |

Fuente: Información Software Mantenimiento AMT – Relianz Calenturitas

La tabla anterior nos muestra el histórico de los cambios de componentes mayores que fueron filtrados anteriormente con unas condiciones dadas. En esta tabla encontramos componentes fallados bajo las siguientes condiciones:

- Componentes con cambios por falla: Estos componentes fallaron de manera súbita, por lo cual no se pudo planear el cambio de este preventivamente. Estos componentes elevan los costos de operación del contrato debido a fallas que incurren en altos costos de reparación.
- Componentes cambiados antes de falla: Estos componentes son cambiados debido al mantenimiento basado en la condición. Los ingenieros de monitoreo de condiciones, a través de herramientas como análisis de aceites, pruebas dinámicas y seguimiento de tendencias de parámetros, establecen el cambio preventivo del componente. Esto incurre en menores costos de reparación y tiempos de cambio de componentes.
- Componentes cambiados por plan: Estos componentes fueron cambiados de acuerdo al plan de mantenimiento acordado con el cliente por horas de operación al momento del inicio del contrato. A determinadas horas de operación, el componente es planeado para realizar su cambio.

A continuación se realizara el desarrollo de la estimación de vida de componentes utilizando la distribución Weibull en la flota de camiones 777F. En este caso se comenzara con el motor, posteriormente con el sistema de tren de potencia integrado por convertidor, transmisión, diferencial y mandos finales. En cada uno se mostraran los datos que fueron objetos de estudio para cada uno de los componentes.

5.3. ANÁLISIS DE DATOS VIDA DE MOTOR

Tabla 8. Análisis de datos vida del Motor.

| CANTIDAD | EQUIPO | COMPONENTE | FECHA | HORAS EQUIPO | HORAS COMPONENTE | ORDEN DE TRABAJO |
|----------|--------|-------------------------------|-----------|--------------|------------------|------------------|
| 1 | DT329 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 30-nov-08 | 8.314 | 8.314 | 5DA14726-01CC |
| 2 | DT330 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 18-ene-09 | 8.337 | 8.337 | 5DA17156-01CC |
| 3 | DT332 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 07-abr-09 | 10.698 | 10.698 | 5DA22012-01CC |
| 4 | DT337 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 15-may-09 | 10.184 | 10.184 | 5DA24402-01CC |
| 5 | DT336 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 09-jul-09 | 11.126 | 11.126 | 5DA28470-01CC |
| 6 | DT340 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 11-jul-09 | 11.065 | 11.065 | 5DA28685-01CC |
| 7 | DT338 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 29-nov-09 | 13.392 | 13.392 | 5DA41223-01CC |
| 8 | DT341 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 16-dic-09 | 13.855 | 13.855 | 5DA42840-01CC |
| 9 | DT344 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 20-ene-10 | 6.153 | 6.153 | 5DA46169-01W |
| 10 | DT335 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 03-feb-10 | 14.125 | 14.125 | 5D47721-01CC |
| 11 | DT334 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 04-mar-10 | 15.050 | 15.049 | 5D47719-01CC |
| 12 | DT333 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 14-abr-10 | 15.466 | 15.466 | 5D54544-01CC |
| 13 | DT367 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 28-abr-10 | 6.400 | 6.400 | 5D55893-01W |
| 14 | DT366 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 25-jun-10 | 7.304 | 7.304 | 5D61473-01CC |
| 15 | DT368 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 31-ago-10 | 8.629 | 8.629 | 5D68428-01CC |
| 16 | DT343 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 03-sep-10 | 9.605 | 9.605 | 5D68796-01CC |
| 17 | DT342 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 24-oct-10 | 17.870 | 17.870 | 5D74654-01CC |
| 18 | DT339 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 23-nov-10 | 18.268 | 18.268 | 5D78501-01CC |
| 19 | DT331 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 02-dic-10 | 19.672 | 16.014 | 5D80122-01CC |
| 20 | DT364 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 13-dic-10 | 10.305 | 10.305 | 5D81507-01CC |
| 21 | DT350 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 21-feb-11 | 12.296 | 12.296 | 5952738-01CC |
| 22 | DT345 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 15-may-11 | 13.931 | 13.931 | 5DB0736-01CC |
| 23 | DT329 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 03-jun-11 | 23.003 | 14.367 | 5DB2886-01CC |
| 24 | DT354 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 22-jun-11 | 14.415 | 14.415 | 5DB4163-01CC |
| 25 | DT357 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 15-jul-11 | 14.846 | 14.846 | 5DB7717-01CC |
| 26 | DT360 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 01-ago-11 | 13.466 | 13.466 | 5DC1610-01CC |
| 27 | DT358 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 10-ago-11 | 15.094 | 15.094 | 5DC1324-01CC |
| 28 | DT347 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 12-ago-11 | 14.841 | 14.841 | 5DC3369-01CC |
| 29 | DT330 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 02-sep-11 | 23.455 | 10.408 | 5DC6719-01CC |
| 30 | DT356 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 09-sep-11 | 15.528 | 15.528 | 5DC6880-01CC |
| 31 | DT340 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 17-sep-11 | 23.574 | 12.509 | 5DC9403-01CC |
| 32 | DT352 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 23-sep-11 | 15.736 | 15.736 | 5DC8191-01CC |
| 33 | DT361 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 04-oct-11 | 15.361 | 15.361 | 5DD1444-01CC |
| 34 | DT346 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 23-oct-11 | 15.818 | 15.818 | 5DD5117-01CC |

| | | | | | | |
|----|-------|-------------------------------|-----------|--------|--------|--------------|
| 35 | DT370 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 26-nov-11 | 15.771 | 15.771 | 5DD9683-01CC |
| 36 | DT359 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 08-dic-11 | 16.143 | 16.143 | 5DE1312-01CC |
| 37 | DT332 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 13-ene-12 | 25.998 | 15.232 | 5DE6714-01CC |
| 38 | DT364 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 06-feb-12 | 17.081 | 6.776 | 5DF2532-01CC |
| 39 | DT363 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 10-feb-12 | 16.271 | 11.963 | 5DF3340-01CC |
| 40 | DT355 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 08-mar-12 | 17.424 | 11.975 | 5DF6978-01CC |
| 41 | DT336 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 27-abr-12 | 26.547 | 15.421 | 5DG5600-01CC |
| 42 | DT365 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 03-jun-12 | 18.970 | 12.960 | 5DI1715-01CC |
| 43 | DT351 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 01-jul-12 | 19.608 | 11.297 | 5DI7006-01CC |
| 44 | DT381 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 14-jul-12 | 13.787 | 13.787 | 5DI9063-01CC |
| 45 | DT338 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 15-jul-12 | 28.222 | 13.342 | 5DI8378-01CC |
| 46 | DT379 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 11-ago-12 | 13.889 | 13.889 | 5DJ3553-01CC |
| 47 | DT354 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 03-sep-12 | 20.874 | 6.459 | 5DJ8471-01CC |
| 48 | DT366 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 09-sep-12 | 20.243 | 12.939 | 5DJ8432-01CC |
| 49 | DT335 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 17-sep-12 | 28.246 | 14.121 | 5DK0876-01CC |
| 50 | DT334 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 18-sep-12 | 28.646 | 11.970 | 5DK0882-01CC |
| 51 | DT353 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 30-sep-12 | 22.472 | 11.593 | 5DK3517-01CC |
| 52 | DT345 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 10-oct-12 | 22.501 | 8.570 | 5DK5199-01CC |
| 53 | DT362 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 15-oct-12 | 21.160 | 14.490 | 5DK5754-01CC |
| 54 | DT412 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 01-nov-12 | 11.073 | 11.073 | 5DK7996-01CC |
| 55 | DT368 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 23-nov-12 | 22.480 | 13.852 | 5DL1262-01CC |
| 56 | DT360 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 30-nov-12 | 21.769 | 8.303 | 5DL4439-01CC |
| 57 | DT337 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 12-dic-12 | 30.712 | 13.765 | 5DL6324-01CC |
| 58 | DT341 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 02-ene-13 | 31.210 | 11.212 | 5DN0316-01CC |
| 59 | DT380 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 02-ene-13 | 16.553 | 16.553 | 5DL9025-01CC |
| 60 | DT331 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 19-ene-13 | 32.520 | 12.847 | 5DN3885-01CC |
| 61 | DT384 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 15-feb-13 | 14.765 | 14.765 | 5DN9067-01CC |
| 62 | DT367 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 21-feb-13 | 23.219 | 14.345 | 5DP0515-01CC |
| 63 | DT333 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 07-mar-13 | 31.007 | 15.542 | 5DP0044-01CC |
| 64 | DT347 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 19-abr-13 | 25.858 | 11.017 | 5DN7879-01CC |
| 65 | DT343 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 27-abr-13 | 25.573 | 10.380 | 5DQ1398-01CC |
| 66 | DT425 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 07-may-13 | 12.394 | 12.394 | 5DQ2002-01CC |
| 67 | DT348 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 26-may-13 | 26.028 | 16.043 | 5DQ4878-01CC |
| 68 | DT415 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 07-jun-13 | 14.534 | 14.534 | 5DQ7156-01CC |
| 69 | DT346 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 07-jul-13 | 26.990 | 11.172 | 5DT1976-01CC |
| 70 | DT413 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 09-jul-13 | 13.990 | 13.990 | 5DT2095-01CC |
| 71 | DT424 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 19-jul-13 | 14.229 | 14.229 | 5DT3486-01CC |
| 72 | DT423 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 08-ago-13 | 14.606 | 14.606 | 5DT6483-01CC |
| 73 | DT416 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 27-sep-13 | 15.822 | 15.822 | 5DU5108-01CC |
| 74 | DT418 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 11-oct-13 | 16.197 | 16.197 | 5DU7640-01CC |
| 75 | DT414 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 29-oct-13 | 15.807 | 15.807 | 5DW0571-01CC |

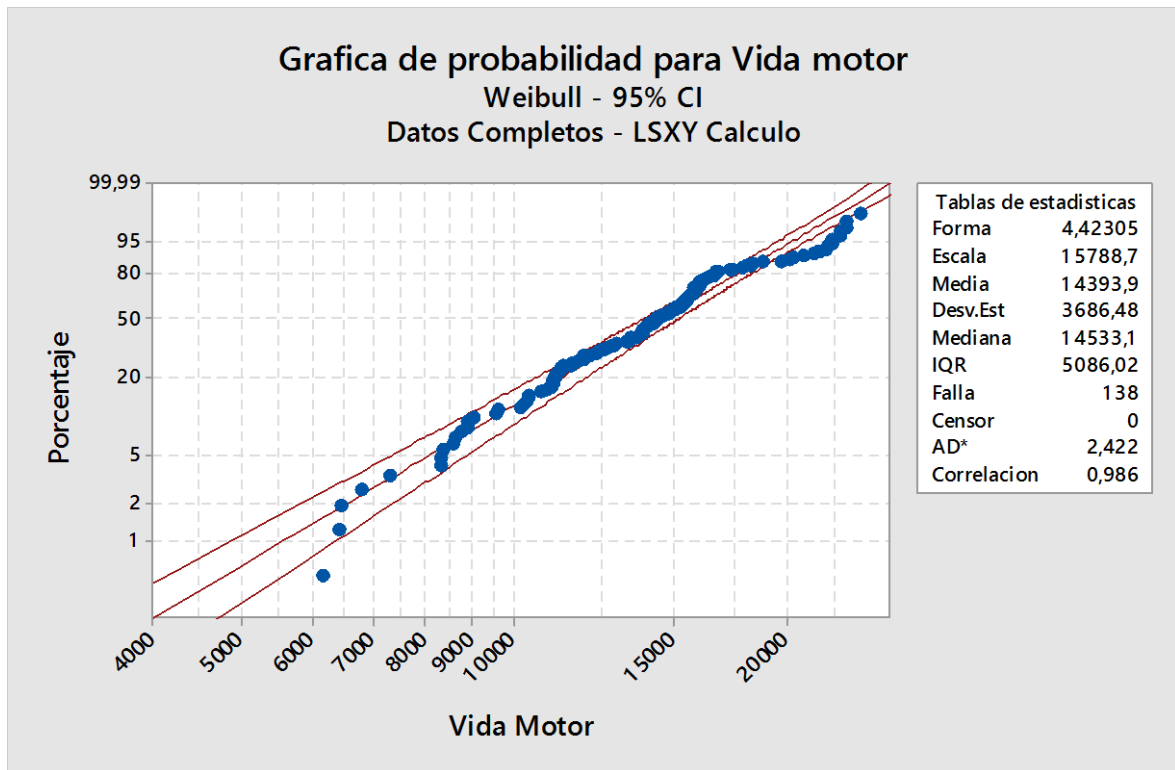
| | | | | | | |
|-----|-------|-------------------------------|-----------|--------|--------|--------------|
| 76 | DT417 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 19-nov-13 | 16.380 | 16.380 | 5DW3507-01CC |
| 77 | DT422 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 17-dic-13 | 16.021 | 16.021 | 5DW8663-01CC |
| 78 | DT421 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 26-dic-13 | 16.705 | 16.705 | 5DX0361-01CC |
| 79 | DT344 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 23-ene-14 | 31.171 | 15.096 | 5DX5297-01CC |
| 80 | DT426 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 27-ene-14 | 15.636 | 15.636 | 5DX6324-01CC |
| 81 | DT342 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 19-feb-14 | 31.928 | 14.058 | 5DY0725-01CC |
| 82 | DT419 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 06-mar-14 | 15.671 | 15.671 | 5DY4253-01CC |
| 83 | DT412 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 11-mar-14 | 19.809 | 8.736 | 5DY5769-01CC |
| 84 | DT350 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 11-mar-14 | 25.865 | 11.557 | 5DY5866-01CC |
| 85 | DT339 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 06-abr-14 | 32.499 | 13.906 | 5DZ1128-01CC |
| 86 | DT359 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 26-abr-14 | 27.491 | 11.348 | 5DZ5988-01CC |
| 87 | DT380 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 28-abr-14 | 25.598 | 9.045 | 5DZ6050-01CC |
| 88 | DT340 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 27-may-14 | 34.831 | 11.257 | MD04236-01CC |
| 89 | DT357 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 23-jun-14 | 28.339 | 13.493 | MD09626-01CC |
| 90 | DT381 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 06-jul-14 | 26.474 | 12.687 | MD11834-01CC |
| 91 | DT356 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 18-sep-14 | 29.764 | 14.236 | MD23149-01CC |
| 92 | DT370 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 12-oct-14 | 31.567 | 15.796 | MD28499-01CC |
| 93 | DT343 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 28-nov-14 | 35.847 | 10.274 | MD38647-01CC |
| 94 | DT347 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 05-dic-14 | 37.016 | 8.881 | MD39994-01CC |
| 95 | DT379 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 25-dic-14 | 29.940 | 16.051 | MD38610-01CC |
| 96 | DT352 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 12-ene-15 | 31.740 | 16.004 | MD46709-01CC |
| 97 | DT348 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 15-ene-15 | 36.887 | 10.859 | MD47667-01CC |
| 98 | DT354 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 26-ene-15 | 35.768 | 14.894 | MD49891-01CC |
| 99 | DT420 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 05-feb-15 | 23.320 | 15.984 | MD52060-01CC |
| 100 | DT329 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 13-feb-15 | 38.847 | 15.844 | MD53821-01CC |
| 101 | DT363 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 01-mar-15 | 32.677 | 16.406 | MD58009-01CC |
| 102 | DT418 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 20-mar-15 | 25.762 | 9.565 | MD61929-01CC |
| 103 | DT353 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 21-mar-15 | 34.232 | 11.760 | MD62205-01CC |
| 104 | DT351 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 02-abr-15 | 38.489 | 18.881 | MD64552-01CC |
| 105 | DT369 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 23-abr-15 | 32.219 | 16.626 | MD69492-01CC |
| 106 | DT346 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 01-may-15 | 39.550 | 12.560 | MD71246-01CC |
| 107 | DT413 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 08-may-15 | 25.087 | 11.097 | MD72957-01CC |
| 108 | DT330 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 23-may-15 | 40.903 | 17.448 | MD75776-01CC |
| 109 | DT358 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 04-jun-15 | 34.130 | 15.322 | MD78399-01CC |
| 110 | DT366 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 16-jun-15 | 35.509 | 15.266 | MD80573-01CC |
| 111 | DT365 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 03-jul-15 | 35.719 | 16.749 | MD83853-01CC |
| 112 | DT332 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 18-sep-15 | 43.325 | 17.327 | MD97037-01CC |
| 113 | DT345 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 08-nov-15 | 43.459 | 20.958 | ME05211-01CC |
| 114 | DT384 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 18-jul-16 | 37.749 | 22.984 | ME43886-01CC |
| 115 | DT336 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 11-sep-16 | 42.099 | 15.552 | ME51986-01CC |
| 116 | DT341 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 17-oct-16 | 43.352 | 12.142 | ME58094-01CC |

| | | | | | | |
|-----|-------|-------------------------------|-----------|--------|--------|--------------|
| 117 | DT357 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 10-dic-16 | 39.305 | 10.966 | ME65275-01CC |
| 118 | DT380 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 13-dic-16 | 42.431 | 16.833 | ME65729-01CC |
| 119 | DT424 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 15-ene-17 | 36.315 | 22.086 | ME70171-01CC |
| 120 | DT361 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 04-feb-17 | 38.430 | 15.334 | ME73956-01CC |
| 121 | DT363 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 09-feb-17 | 41.556 | 8.879 | ME74497-01CC |
| 122 | DT421 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 24-feb-17 | 34.803 | 18.098 | ME76794-01CC |
| 123 | DT425 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 17-mar-17 | 37.851 | 24.126 | ME79693-01CC |
| 124 | DT364 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 14-abr-17 | 40.044 | 22.963 | ME83337-01CC |
| 125 | DT355 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 20-abr-17 | 39.865 | 22.441 | ME84314-01CC |
| 126 | DT381 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 26-abr-17 | 41.799 | 13.639 | ME85508-01CC |
| 127 | DT415 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 30-may-17 | 36.020 | 21.486 | ME89988-01CC |
| 128 | DT344 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 18-jun-17 | 52.871 | 21.700 | ME92574-01CC |
| 129 | DT367 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 24-jun-17 | 43.422 | 20.203 | ME93092-01CC |
| 130 | DT362 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 24-jul-17 | 50.403 | 22.272 | ME96770-01CC |
| 131 | DT338 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 03-ago-17 | 46.567 | 18.345 | ME98333-01CC |
| 132 | DT350 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 28-sep-17 | 48.336 | 22.471 | MF05972-01CC |
| 133 | DT416 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 14-oct-17 | 37.640 | 21.818 | MF07553-01CC |
| 134 | DT422 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 29-nov-17 | 36.385 | 20.364 | MF14086-01CC |
| 135 | DT335 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 08-dic-17 | 50.714 | 22.468 | MF13849-01CC |
| 136 | DT414 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 23-ene-18 | 39.137 | 23.330 | MF19934-01CC |
| 137 | DT379 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 30-ene-18 | 49.652 | 19.712 | MF21438-01CC |
| 138 | DT426 | 1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR | 07-mar-18 | 39.011 | 23.375 | MF26390-01CC |

Fuente: Información Software Mantenimiento AMT – Relianz Calenturitas

En la anterior tabla se muestra la información detallada del histórico de cambio de motores en la flota de camiones 777F de la mina calenturitas. A partir de esta información, realizamos el análisis de vida de componentes en el programa Minitab. El horómetro de cada cambio es ingresado al software para generar una serie de gráficas para su posterior análisis.

Figura 14. Grafico para probabilidad de Weibull para vida de motor 777F. Noviembre 2008 – Marzo 2018.



Fuente: El autor. Generada con software Minitab.

La figura 14 nos muestra cada punto que es cada una de las fallas del componente en estudio. En el eje Y se muestra el porcentaje de probabilidad de falla para Motor. De acuerdo a lo que podemos ver en el gráfico, los motores con 9492 horas tienen el 10% de probabilidad de falla, mientras que los motores con 19065 horas tienen el 90% de probabilidad de falla.

El software estadístico Minitab, que fue utilizado para generar las siguientes gráficas, también nos arroja los siguientes parámetros de la distribución:

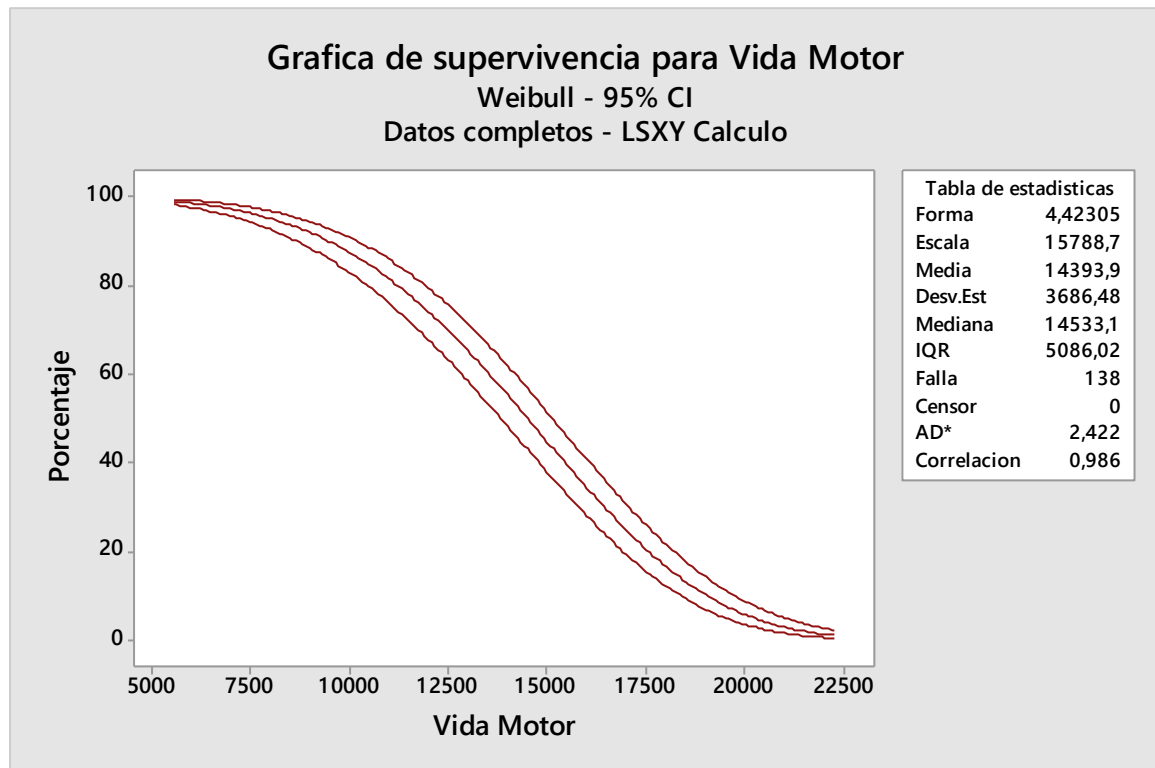
- **Parámetro de Forma (β):** El valor dado para este caso es de 4,423. Este valor nos lleva a que los datos suministrados están en la zona de la curva de la bañera por envejecimiento o desgaste.

- **Parámetro de escala o característica de vida útil (η):** El valor dado para este caso es de 15788 horas. Este valor es de gran importancia debido a que es la vida característica del motor. Es la vida del componente cuando presenta una probabilidad de fallas del 63,2%.

En este caso el valor de vida característica para motor de 777F se encuentra por encima del pactado en la proyección de cambio de componentes al inicio del contrato. Esto nos corrobora que el contrato no ha generado pérdidas económicas por concepto de cambios de componentes antes de la vida proyectada. Por concepto de ahorro en los costos, se debería actualizar el plan de mantenimiento de cambio de componentes por horas de servicio a la vida característica dada en el presente proyecto. En el momento que se tenga otro contrato de mantenimiento y reparación (MARC), con maquinaria en las mismas condiciones de operación, se debería tomar la vida característica dada para fijar la tarifa por hora de operación. Esto siguiendo un programa de mantenimiento preventivo basado en la condición del componente.

- **Media y Mediana:** Estos valores no son tenidos en cuenta para este análisis.
- **Desviación Estándar y Rango Intercuartil (IQR):** La desviación estándar mide la variabilidad de acuerdo a la media. En estos casos los datos fueron filtrados para evitar los datos dispersos. No serán tomados en cuenta estos parámetros para el estudio.
- **Correlación:** El valor dado para este caso es de 0,986. Se relación de tal forma que al aumentar uno también lo hace el otro. En este caso está correctamente alineado con Weibull, por lo tanto la prueba se cumple.

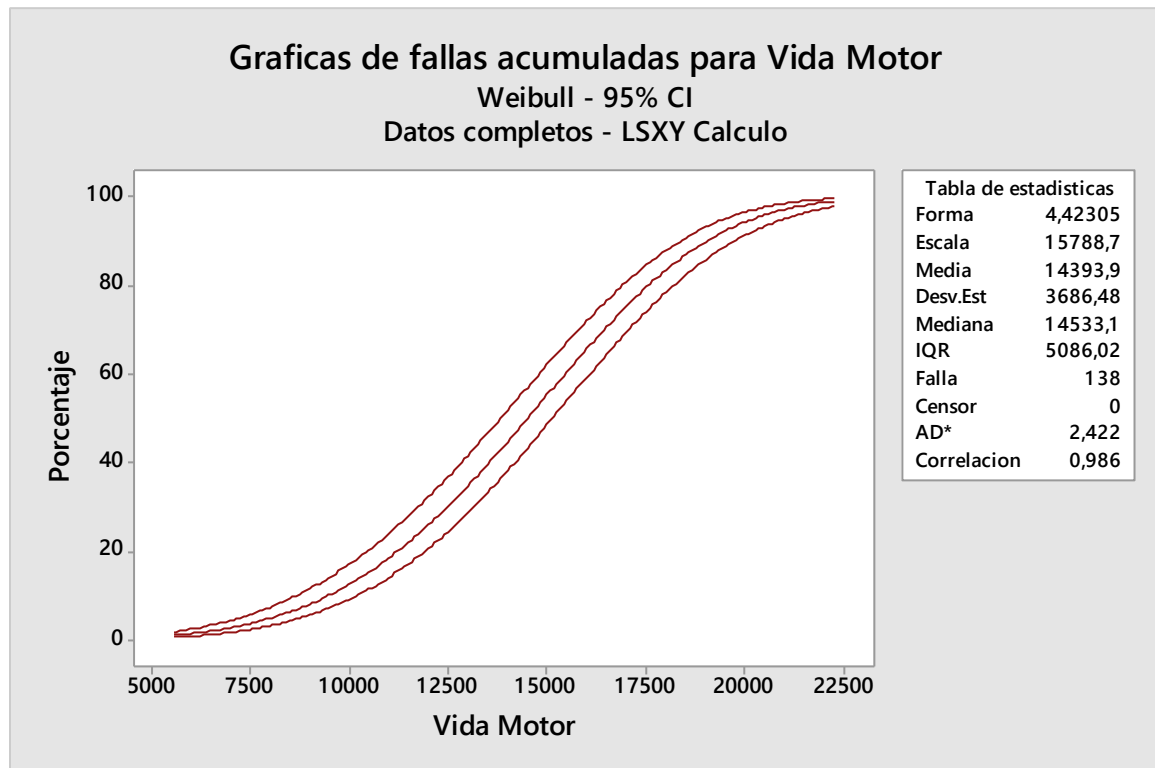
Figura 15. Gráfico de confiabilidad o supervivencia para vida de motor 777F.
 Noviembre 2008 – Marzo 2018



Fuente: El autor. Generada con software Minitab.

En la figura 15 se grafica la probabilidad o supervivencia que tiene un componente en función del tiempo en las horas acumuladas de los motores de la mina calenturitas. De acuerdo a la gráfica los motores con 6000 horas, tienen una confiabilidad del 98,6%. Los motores con 14000 horas, tienen una confiabilidad del 55,5%. Los motores con 16000 horas que sería la vida característica propuesta, tienen una confiabilidad del 34,6%. Los motores con 19000 horas, tienen una confiabilidad del 10,35%.

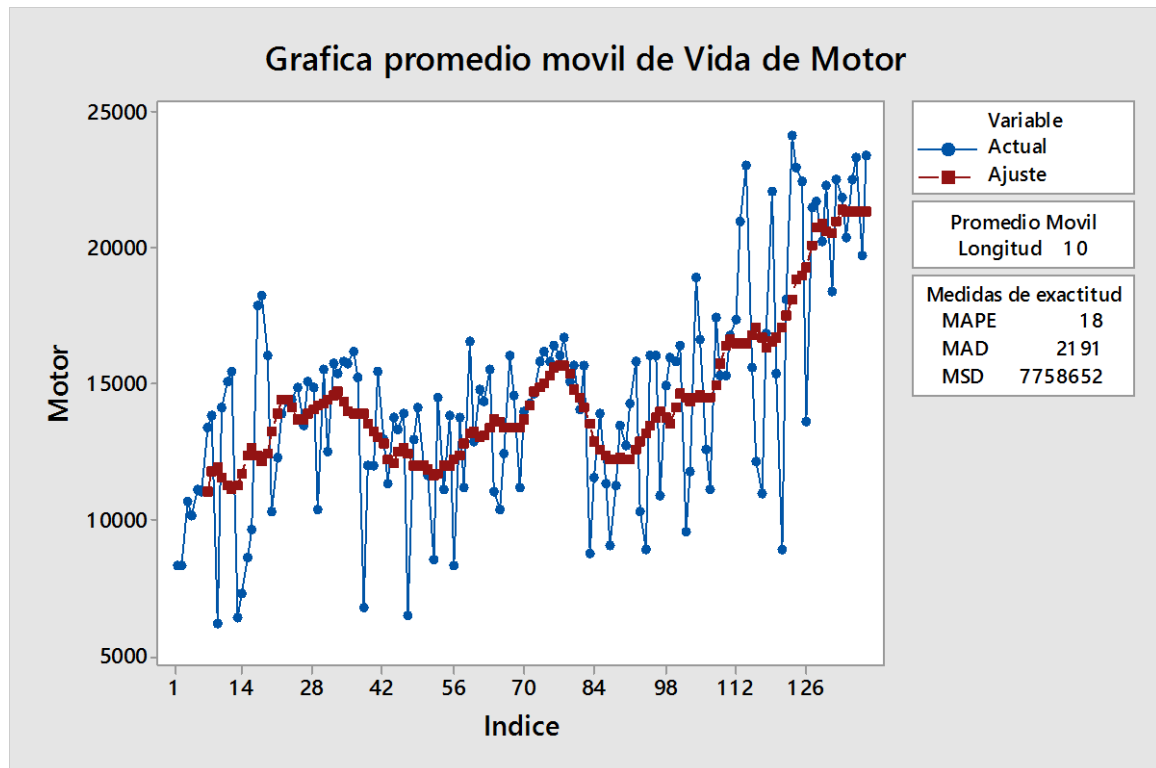
Figura 16. Gráfico de fallas acumuladas para vida de motor 777F. Noviembre 2008 – Marzo 2018



Fuente: El autor. Generada con software Minitab.

La grafica 16 nos muestra las fallas acumuladas a través del tiempo. Cuando aumentan las horas del componente, hay relación directa con la probabilidad de fallar el componente. Este grafico nos muestra la fase III de la curva de la bañera, la cual es la fase de envejecimiento, debido a que tenemos un parámetro de forma (β) de 4,42.

Figura 17. Gráfico de promedio móvil de los últimos 10 cambios de motor 777F. Noviembre 2008 – Marzo 2018



Fuente: El autor. Generada con software Minitab.

En la figura 17 nos muestra el promedio móvil de los últimos 10 cambios de motor. La figura nos muestra la tendencia en horas con la que se vienen realizando los cambios de motor. En este caso se ve una tendencia en alza en los últimos cambios. El promedio de horas de cambio de motor se ha mantenido por encima de las 15000 horas, lo cual es bueno para nuestro análisis y estimación de vida porque está en el rango del parámetro de escala propuesto. El promedio de los últimos 10 cambios de diferencial en la flota es de 21532 horas, serian 5744 horas por encima de la vida característica.

5.4. ANÁLISIS DE VIDA DE CONVERTIDOR DE TORQUE

En la siguiente tabla se muestra la información detallada del histórico de cambio de convertidores de torque en la flota de camiones 777F de la mina calenturitas. A partir de esta información, realizamos el análisis de vida de componentes en el programa Minitab. El horómetro de cada cambio es ingresado al software para generar una serie de gráficas para su posterior análisis.

Tabla 9, Detalle de reemplazo de convertidores

| CANTIDAD | EQUIPO | COMPONENTE | FECHA | HORAS EQUIPO | HORAS COMPONENTE | ORDEN DE TRABAJO |
|----------|--------|-------------------------------------|-----------|--------------|------------------|------------------|
| 1 | DT332 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 28-nov-09 | 14.565 | 10.925 | 5DA41263-01CC |
| 2 | DT335 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 03-feb-10 | 14.125 | 14.125 | 5D48324-01CC |
| 3 | DT334 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 04-mar-10 | 15.050 | 15.050 | 5D50153-01CC |
| 4 | DT338 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 11-mar-10 | 14.880 | 14.880 | 5D51479-01CC |
| 5 | DT333 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 14-abr-10 | 15.466 | 15.466 | 5D54545-01CC |
| 6 | DT341 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 18-jul-10 | 17.130 | 17.130 | 5D63375-01CC |
| 7 | DT337 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 03-ago-10 | 16.828 | 16.828 | 5D64839-01CC |
| 8 | DT339 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 07-ago-10 | 16.712 | 16.712 | 5D65669-01CC |
| 9 | DT340 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 06-sep-10 | 17.768 | 17.768 | 5D69252-01CC |
| 10 | DT330 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 17-sep-10 | 18.204 | 18.204 | 5D70834-01CC |
| 11 | DT342 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 24-oct-10 | 17.870 | 17.870 | 5D74658-01CC |
| 12 | DT329 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 05-ene-11 | 20.697 | 20.697 | 5D84186-01CC |
| 13 | DT350 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 21-feb-11 | 12.296 | 12.296 | 5952832-01CC |
| 14 | DT344 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 17-mar-11 | 12.646 | 12.646 | 5D93902-01CC |
| 15 | DT331 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 22-mar-11 | 21.406 | 11.665 | 5D94510-01CC |
| 16 | DT345 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 15-may-11 | 13.931 | 13.931 | 5DB0988-01CC |
| 17 | DT336 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 26-may-11 | 21.926 | 21.926 | 5DB1888-01CC |
| 18 | DT354 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 22-jun-11 | 14.415 | 14.415 | 5DB4165-01CC |
| 19 | DT351 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 29-jun-11 | 13.688 | 13.688 | 5DB6345-01CC |
| 20 | DT357 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 15-jul-11 | 14.846 | 14.846 | 5DB7718-01CC |
| 21 | DT360 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 01-ago-11 | 13.466 | 13.466 | 5DC1612-01CC |
| 22 | DT358 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 10-ago-11 | 15.094 | 15.094 | 5DC1325-01CC |
| 23 | DT347 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 12-ago-11 | 14.841 | 14.841 | 5DC3370-01CC |
| 24 | DT356 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 09-sep-11 | 15.528 | 15.528 | 5DC6881-01CC |
| 25 | DT352 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 23-sep-11 | 15.736 | 14.336 | 5DC8193-01CC |

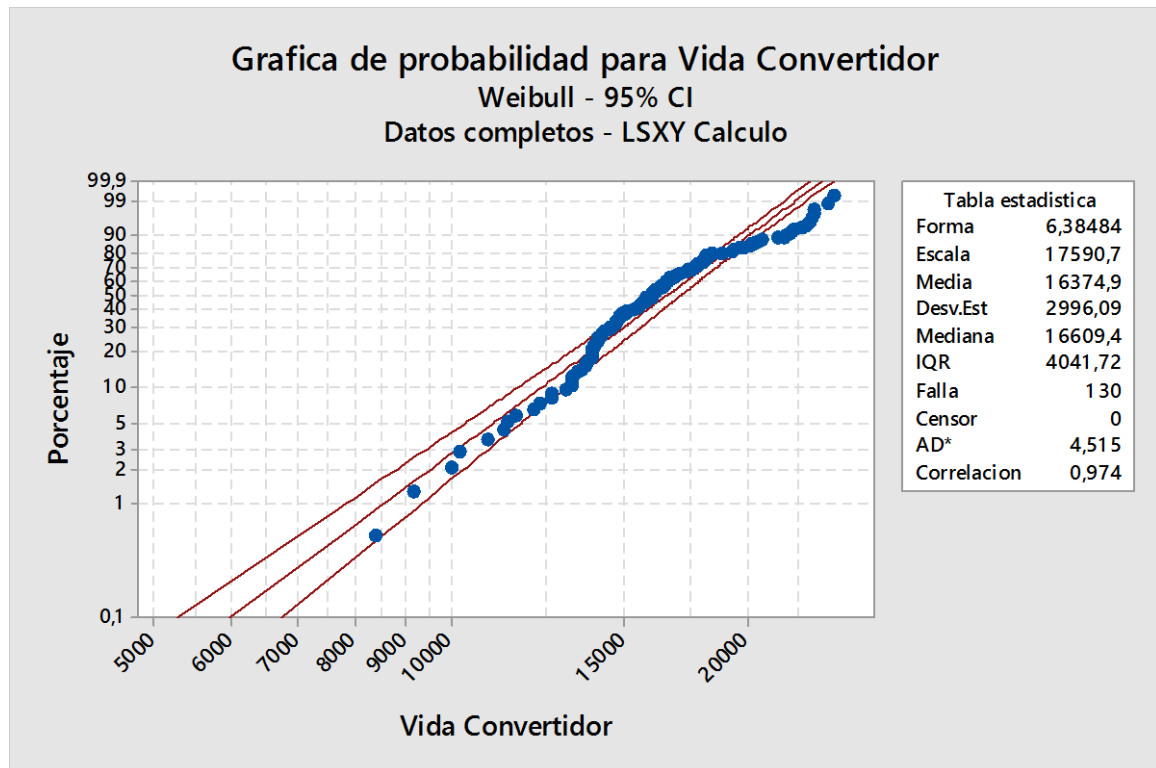
| | | | | | | |
|----|-------|-------------------------------------|-----------|--------|--------|--------------|
| 26 | DT370 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 02-oct-11 | 15.135 | 15.135 | 5DD1872-01CC |
| 27 | DT361 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 04-oct-11 | 15.361 | 15.361 | 5DD1448-01CC |
| 28 | DT346 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 23-oct-11 | 15.818 | 15.818 | 5DD5121-01CC |
| 29 | DT359 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 08-dic-11 | 16.143 | 16.143 | 5DE1316-01CC |
| 30 | DT355 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 15-dic-11 | 15.985 | 15.985 | 5DE2805-01CC |
| 31 | DT332 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 13-ene-12 | 25.998 | 11.433 | 5DE6716-01CC |
| 32 | DT364 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 06-feb-12 | 17.081 | 17.081 | 5DF2774-01CC |
| 33 | DT363 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 10-feb-12 | 16.271 | 16.271 | 5DF3338-01CC |
| 34 | DT369 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 26-feb-12 | 17.311 | 17.311 | 5DF5205-01CC |
| 35 | DT348 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 11-mar-12 | 17.985 | 17.985 | 5DF6389-01CC |
| 36 | DT362 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 23-mar-12 | 17.632 | 17.632 | 5DF9878-01CC |
| 37 | DT365 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 19-abr-12 | 18.162 | 18.162 | 5DG4330-01CC |
| 38 | DT366 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 22-abr-12 | 17.672 | 17.672 | 5DG4910-01CC |
| 39 | DT340 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 26-abr-12 | 26.928 | 9.160 | 5DG5879-01CC |
| 40 | DT368 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 30-jun-12 | 19.819 | 19.819 | 5DI6558-01CC |
| 41 | DT381 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 14-jul-12 | 13.787 | 13.787 | 5DI9065-01CC |
| 42 | DT338 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 15-jul-12 | 28.222 | 13.342 | 5DI8947-01CC |
| 43 | DT343 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 26-jul-12 | 20.538 | 20.538 | 5DJ0720-01CC |
| 44 | DT379 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 11-ago-12 | 13.889 | 13.889 | 5DJ3551-01CC |
| 45 | DT335 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 17-sep-12 | 28.246 | 14.121 | 5DK0877-01CC |
| 46 | DT334 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 18-sep-12 | 28.646 | 13.596 | 5DK0949-01CC |
| 47 | DT353 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 30-sep-12 | 22.472 | 13.972 | 5DK3516-01CC |
| 48 | DT337 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 12-dic-12 | 30.712 | 13.884 | 5DL6326-01CC |
| 49 | DT341 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 02-ene-13 | 31.210 | 14.080 | 5DN0317-01CC |
| 50 | DT380 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 02-ene-13 | 16.553 | 16.553 | 5DL9027-01CC |
| 51 | DT384 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 15-feb-13 | 14.765 | 14.765 | 5DN9075-01CC |
| 52 | DT367 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 21-feb-13 | 23.219 | 13.895 | 5DP0516-01CC |
| 53 | DT333 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 07-mar-13 | 31.007 | 15.542 | 5DP0045-01CC |
| 54 | DT412 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 13-may-13 | 14.634 | 14.634 | 5DQ3437-01CC |
| 55 | DT344 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 17-may-13 | 26.550 | 13.904 | 5DQ4107-01CC |
| 56 | DT415 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 07-jun-13 | 14.534 | 14.534 | 5DQ7158-01CC |
| 57 | DT420 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 19-jun-13 | 13.284 | 13.284 | 5DQ9208-01CC |
| 58 | DT413 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 09-jul-13 | 13.990 | 13.990 | 5DT2138-01CC |
| 59 | DT424 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 19-jul-13 | 14.229 | 14.229 | 5DT3487-01CC |
| 60 | DT425 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 20-jul-13 | 13.726 | 13.726 | 5DT3967-01CC |
| 61 | DT351 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 29-jul-13 | 26.944 | 13.256 | 5DT4989-01CC |
| 62 | DT423 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 08-ago-13 | 14.606 | 14.606 | 5DT6484-01CC |
| 63 | DT347 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 28-ago-13 | 28.135 | 13.294 | 5DT9433-01CC |
| 64 | DT416 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 27-sep-13 | 15.822 | 15.822 | 5DU5107-01CC |
| 65 | DT418 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 11-oct-13 | 16.197 | 16.197 | 5DU7641-01CC |
| 66 | DT345 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 19-oct-13 | 29.613 | 15.682 | 5DU8949-01CC |

| | | | | | | |
|-----|-------|-------------------------------------|-----------|--------|--------|--------------|
| 67 | DT414 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 29-oct-13 | 15.807 | 15.807 | 5DW0573-01CC |
| 68 | DT417 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 19-nov-13 | 16.380 | 16.380 | 5DW3509-01CC |
| 69 | DT422 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 17-dic-13 | 16.021 | 16.021 | 5DW8665-01CC |
| 70 | DT421 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 26-dic-13 | 16.705 | 16.705 | 5DX0395-01CC |
| 71 | DT354 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 07-ene-14 | 29.104 | 14.689 | 5DX2326-01CC |
| 72 | DT426 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 27-ene-14 | 15.636 | 15.636 | 5DX6325-01CC |
| 73 | DT342 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 19-feb-14 | 31.928 | 14.058 | 5DY1254-01CC |
| 74 | DT419 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 06-mar-14 | 15.671 | 15.671 | 5DY4255-01CC |
| 75 | DT339 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 06-abr-14 | 32.499 | 15.787 | 5DZ1127-01CC |
| 76 | DT359 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 26-abr-14 | 27.491 | 11.348 | 5DZ6145-01CC |
| 77 | DT330 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 29-abr-14 | 34.777 | 16.573 | 5DZ6247-01CC |
| 78 | DT346 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 03-may-14 | 32.800 | 16.950 | 5DZ6914-01CC |
| 79 | DT331 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 20-may-14 | 35.626 | 14.220 | MD02656-01CC |
| 80 | DT357 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 23-jun-14 | 28.339 | 12.150 | MD09624-01CC |
| 81 | DT381 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 06-jul-14 | 26.474 | 12.687 | MD11836-01CC |
| 82 | DT356 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 18-sep-14 | 29.764 | 14.236 | MD23152-01CC |
| 83 | DT360 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 23-sep-14 | 30.178 | 16.712 | MD24427-01CC |
| 84 | DT336 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 03-oct-14 | 36.329 | 13.115 | MD26642-01CC |
| 85 | DT370 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 12-oct-14 | 31.567 | 16.432 | MD28500-01CC |
| 86 | DT343 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 26-oct-14 | 35.249 | 14.711 | MD31530-01CC |
| 87 | DT348 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 17-nov-14 | 36.108 | 18.123 | MD35892-01CC |
| 88 | DT361 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 12-dic-14 | 31.946 | 16.585 | MD41201-01CC |
| 89 | DT379 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 25-dic-14 | 29.940 | 16.051 | MD38611-01CC |
| 90 | DT358 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 10-ene-15 | 31.654 | 16.560 | MD46457-01CC |
| 91 | DT352 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 12-ene-15 | 31.740 | 16.004 | MD46713-01CC |
| 92 | DT420 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 05-feb-15 | 23.320 | 10.036 | MD52061-01CC |
| 93 | DT329 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 13-feb-15 | 38.847 | 18.150 | MD53822-01CC |
| 94 | DT363 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 01-mar-15 | 32.677 | 16.406 | MD58008-01CC |
| 95 | DT369 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 23-abr-15 | 32.219 | 14.908 | MD69493-01CC |
| 96 | DT362 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 23-abr-15 | 38.366 | 18.418 | MD68994-01CC |
| 97 | DT380 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 13-may-15 | 32.827 | 16.274 | MD74006-01CC |
| 98 | DT368 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 29-may-15 | 34.552 | 14.733 | MD76776-01CC |
| 99 | DT341 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 04-jun-15 | 41.410 | 10.200 | MD78165-01CC |
| 100 | DT365 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 03-jul-15 | 35.719 | 17.557 | MD83854-01CC |
| 101 | DT346 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 03-ago-15 | 41.206 | 8.406 | MD90102-01CC |
| 102 | DT332 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 18-sep-15 | 43.325 | 17.327 | MD97103-01CC |
| 103 | DT423 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 06-abr-16 | 32.439 | 17.833 | ME28241-01CC |
| 104 | DT345 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 05-jun-16 | 47.009 | 17.396 | ME36759-01CC |
| 105 | DT384 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 18-jul-16 | 37.749 | 22.984 | ME43889-01CC |
| 106 | DT347 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 29-jul-16 | 47.472 | 19.338 | ME45408-01CC |
| 107 | DT353 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 17-oct-16 | 41.802 | 19.329 | ME57181-01CC |

| | | | | | | |
|-----|-------|-------------------------------------|-----------|--------|--------|--------------|
| 108 | DT344 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 13-nov-16 | 49.319 | 22.769 | ME61269-01CC |
| 109 | DT424 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 15-ene-17 | 36.315 | 22.086 | ME70175-01CC |
| 110 | DT412 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 19-feb-17 | 34.765 | 20.131 | ME75799-01CC |
| 111 | DT366 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 22-feb-17 | 40.112 | 15.983 | ME76003-01CC |
| 112 | DT421 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 24-feb-17 | 34.803 | 18.098 | ME76890-01CC |
| 113 | DT425 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 17-mar-17 | 37.851 | 24.126 | ME79694-01CC |
| 114 | DT364 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 17-may-17 | 40.462 | 23.381 | ME88107-01CC |
| 115 | DT415 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 30-may-17 | 36.020 | 21.486 | ME89989-01CC |
| 116 | DT355 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 23-jun-17 | 40.526 | 24.541 | ME92717-01CC |
| 117 | DT367 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 24-jun-17 | 43.422 | 20.203 | ME93143-01CC |
| 118 | DT413 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 02-ago-17 | 33.397 | 19.407 | ME97898-01CC |
| 119 | DT338 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 03-ago-17 | 46.567 | 18.345 | ME98339-01CC |
| 120 | DT418 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 26-sep-17 | 38.540 | 22.343 | MF05182-01CC |
| 121 | DT350 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 28-sep-17 | 48.336 | 23.181 | ME99106-01CC |
| 122 | DT416 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 14-oct-17 | 37.640 | 21.818 | MF07555-01CC |
| 123 | DT348 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 30-oct-17 | 53.911 | 17.803 | MF09686-01CC |
| 124 | DT422 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 29-nov-17 | 36.385 | 20.364 | MF14087-01CC |
| 125 | DT335 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 08-dic-17 | 50.714 | 18.816 | MF13850-01CC |
| 126 | DT340 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 13-ene-18 | 49.148 | 22.220 | MF19052-01CC |
| 127 | DT414 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 23-ene-18 | 39.137 | 23.330 | MF19935-01CC |
| 128 | DT379 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 30-ene-18 | 49.652 | 19.712 | MF21442-01CC |
| 129 | DT426 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 07-mar-18 | 39.011 | 23.375 | MF26391-01CC |
| 130 | DT351 | 3101.00.CC.00 CAMBIO DE CONVERTIDOR | 12-mar-18 | 53.602 | 23.007 | MF27234-01CC |

Fuente: Información Software Mantenimiento AMT – Relianz Calenturitas

Figura 18. Grafico para probabilidad de Weibull para vida de convertidor 777F. Noviembre 2009 – Marzo 2018



Fuente: El autor. Generada con software Minitab.

La figura 18 nos muestra cada punto que es cada una de las fallas del componente en estudio. En el eje Y se muestra el porcentaje de probabilidad de falla para convertidor. De acuerdo a lo que podemos ver en el gráfico, los convertidores con 12365 horas tienen el 10% de probabilidad de falla, mientras que los convertidores con 20045 horas tienen el 90% de probabilidad de falla.

El software estadístico Minitab, que fue utilizado para generar las siguientes gráficas, también nos arroja los siguientes parámetros de la distribución:

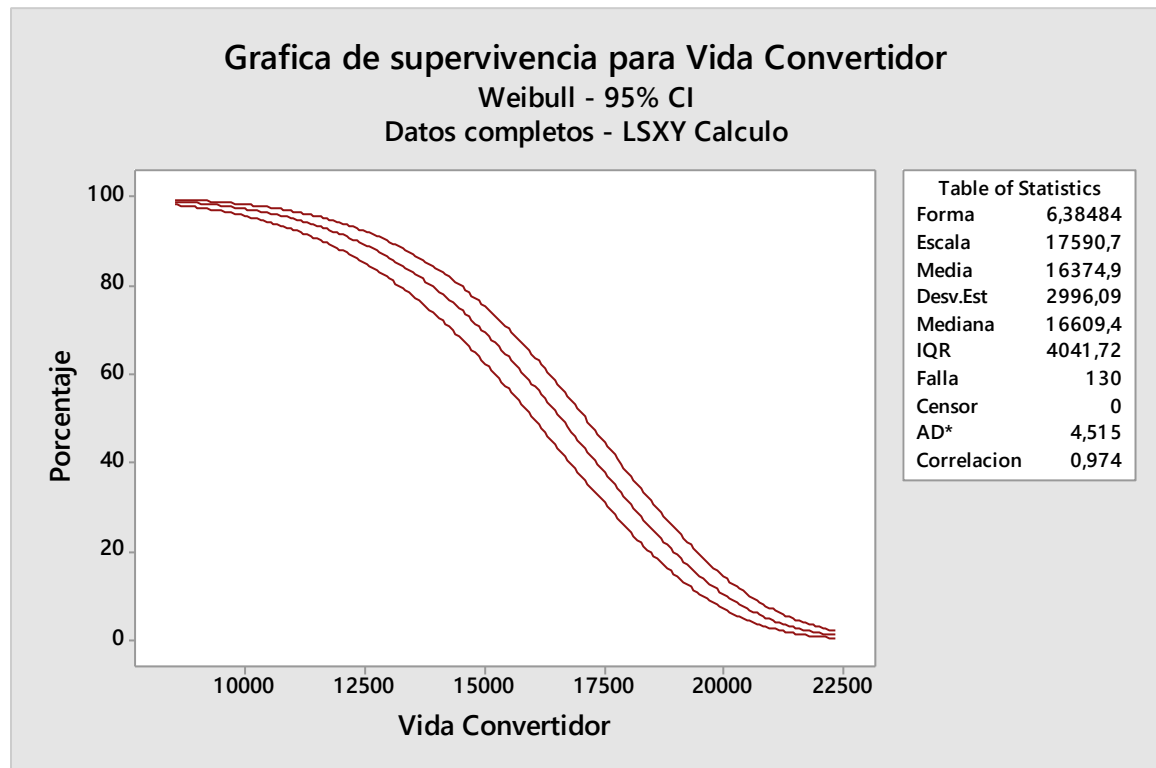
- **Parámetro de Forma (β):** El valor dado para este caso es de 6,384. Este valor nos lleva a que los datos suministrados están en la zona de la curva de la bañera por envejecimiento o desgaste.

- **Parámetro de escala o característica de vida útil (η):** El valor dado para este caso es de 17590 horas. Este valor es de gran importancia debido a que es la vida característica del convertidor. Es la vida del componente cuando presenta una probabilidad de fallas del 63,2%.

En este caso el valor de vida característica para convertidor de 777F se encuentra por encima del pactado en la proyección de cambio de componentes al inicio del contrato. Esto nos corrobora que el contrato no ha generado pérdidas económicas por concepto de cambios de componentes antes de la vida proyectada. Por concepto de ahorro en los costos, se debería actualizar el plan de mantenimiento de cambio de componentes por horas de servicio a la vida característica dada en el presente proyecto. En el momento que se tenga otro contrato de mantenimiento y reparación (MARC), con maquinaria en las mismas condiciones de operación, se debería tomar la vida característica dada para fijar la tarifa por hora de operación. Esto siguiendo un programa de mantenimiento preventivo basado en la condición del componente.

- **Media y Mediana:** Estos valores no son tenidos en cuenta para este análisis.
- **Desviación Estándar y Rango Intercuartil (IQR):** La desviación estándar mide la variabilidad de acuerdo a la media. En estos casos los datos fueron filtrados para evitar los datos dispersos. No serán tomados en cuenta estos parámetros para el estudio.
- **Correlación:** El valor dado para este caso es de 0,974. Se relación de tal forma que al aumentar uno también lo hace el otro. En este caso está correctamente alineado con Weibull, por lo tanto la prueba se cumple.

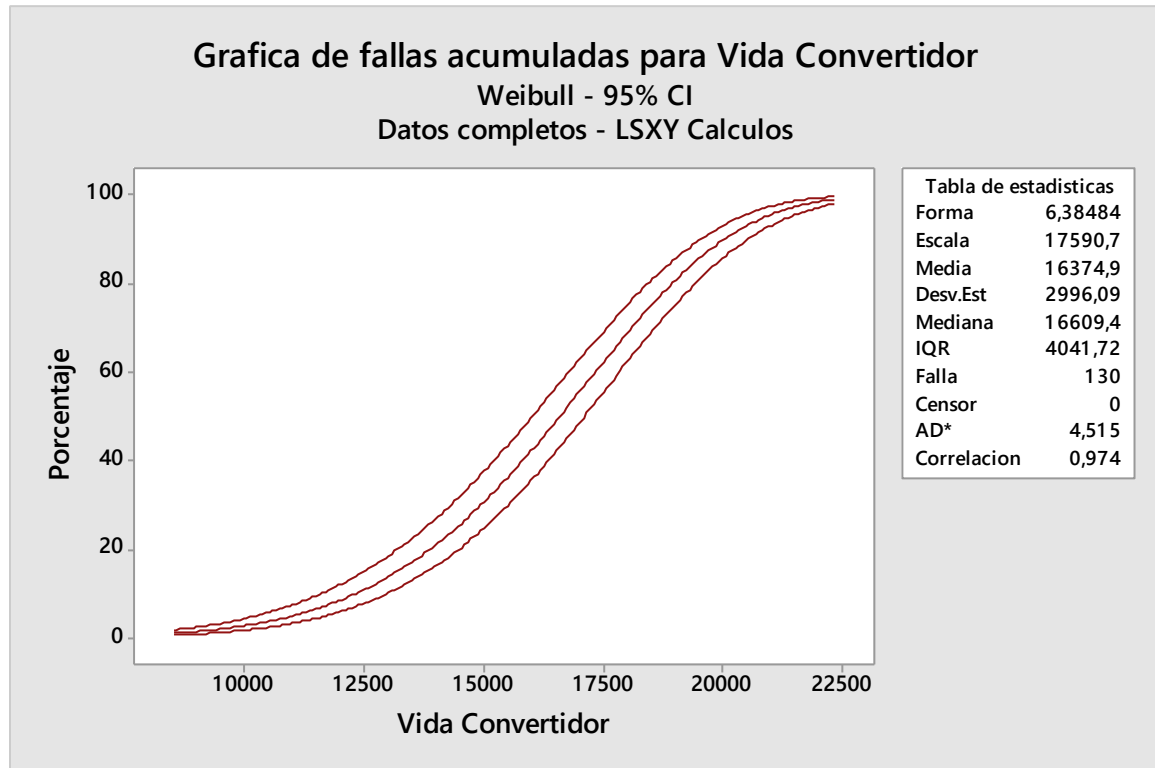
Figura 19, Grafico de confiabilidad o supervivencia para vida de convertidor 777F. Noviembre 2009 – Marzo 2018



Fuente: El autor. Generada con software Minitab.

En la figura 19 se grafica la probabilidad o supervivencia que tiene un componente en función del tiempo en las horas acumuladas de los convertidores de la mina calenturitas. De acuerdo a la gráfica los convertidores con 8800 horas, tienen una confiabilidad del 98,6%. Los convertidores con 16000 horas, tienen una confiabilidad del 57,92%. Los convertidores con 17590 horas que sería la vida característica propuesta, tienen una confiabilidad del 36,6%. Los convertidores con 20000 horas, tienen una confiabilidad del 10,33%.

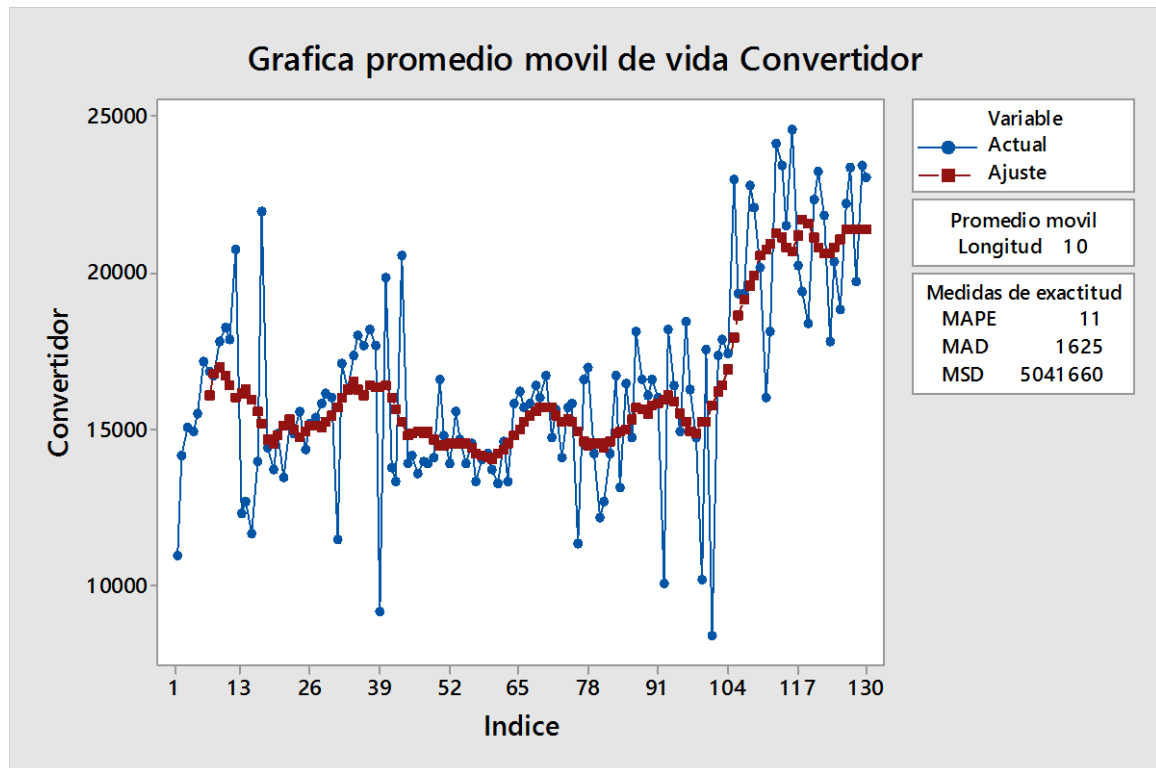
Figura 20. Gráfico de fallas acumuladas para vida de convertidor 777F.
Noviembre 2009 – Marzo 2018



Fuente: El autor. Generada con software Minitab.

La grafica 20 nos muestra las fallas acumuladas a través del tiempo. Cuando aumentan las horas del componente, hay relación directa con la probabilidad de fallar el componente. Este grafico nos muestra la fase III de la curva de la bañera, la cual es la fase de envejecimiento, debido a que tenemos un parámetro de forma (β) de 6,38.

Figura 21. Gráfico de promedio móvil de los últimos 10 cambios de convertidor 777F. Noviembre 2009 – Marzo 2018



Fuente: El autor. Generada con software Minitab.

En la figura 25 nos muestra el promedio móvil de los últimos 10 cambios de convertidor. La figura nos muestra la tendencia en horas con la que se vienen realizando los cambios de convertidor. En este caso se ve una tendencia en alza en los últimos cambios. El promedio de horas de cambio de convertidor se ha mantenido por encima de las 15000 horas, se muestran algunos cambios por debajo de la vida característica pero no afectan el estudio debido a que los últimos 23 cambios están por encima. Lo cual es bueno para nuestro análisis y estimación de vida porque está en el rango del parámetro de escala propuesto de 17590 horas.

5.5. ANÁLISIS DE VIDA DE TRANSMISIÓN

En la siguiente tabla se muestra la información detallada del histórico de cambio de transmisiones en la flota de camiones 777F de la mina calenturitas. A partir de esta información, realizamos el análisis de vida de componentes en el programa Minitab. El horómetro de cada cambio es ingresado al software para generar una serie de gráficas para su posterior análisis.

Tabla 10. Detalle de las transmisiones reemplazadas

| CANTIDAD | EQUIPO | COMPONENTE | FECHA | HORAS EQUIPO | HORAS COMPONENTE | ORDEN DE TRABAJO |
|----------|--------|----------------------------------|-----------|--------------|------------------|------------------|
| 1 | DT338 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 13-mar-09 | 8.706 | 8706 | 5DA20370-01CC |
| 2 | DT341 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 04-abr-09 | 9.526 | 9526 | 5DA21891-01CC |
| 3 | DT335 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 04-sep-09 | 11.721 | 11721 | 5DA33074-01R |
| 4 | DT329 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 13-sep-09 | 13.421 | 13421 | 5DA33873-01CC |
| 5 | DT332 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 13-nov-09 | 14.340 | 14340 | 5DA39690-01CC |
| 6 | DT334 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 18-ene-10 | 14.401 | 14401 | 5DA46002-01CC |
| 7 | DT333 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 14-abr-10 | 15.466 | 15466 | 5D54546-01CC |
| 8 | DT353 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 05-jun-10 | 8.500 | 8500 | 5D60068-01CC |
| 9 | DT331 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 27-jun-10 | 17.475 | 17475 | 5D61714-01CC |
| 10 | DT337 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 02-jul-10 | 16.467 | 16467 | 5D62182-01CC |
| 11 | DT336 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 24-jul-10 | 17.153 | 17153 | 5D64280-01CC |
| 12 | DT340 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 06-sep-10 | 17.768 | 17768 | 5D69251-01CC |
| 13 | DT330 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 17-sep-10 | 18.204 | 18204 | 5D70833-01CC |
| 14 | DT356 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 06-oct-10 | 10.176 | 10176 | 5D72960-01CC |
| 15 | DT329 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 23-oct-10 | 19.703 | 6282 | 5D74925-01CC |
| 16 | DT342 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 24-oct-10 | 17.870 | 17870 | 5D74655-01CC |
| 17 | DT362 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 06-nov-10 | 9.578 | 9578 | 5D76997-01CC |
| 18 | DT339 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 23-nov-10 | 18.268 | 18268 | 5D78504-01CC |
| 19 | DT344 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 23-dic-10 | 11.096 | 11096 | 5D82654-01CC |
| 20 | DT338 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 31-dic-10 | 19.304 | 10599 | 5D82697-01CC |
| 21 | DT370 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 06-ene-11 | 10.624 | 10624 | 5D84229-01CC |
| 22 | DT360 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 10-ene-11 | 10.041 | 10041 | 5D84762-01CC |
| 23 | DT361 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 18-ene-11 | 11.137 | 11137 | 5D86050-01CC |
| 24 | DT366 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 31-ene-11 | 10.610 | 10610 | 5D87795-01CC |
| 25 | DT364 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 31-mar-11 | 12.193 | 12193 | 5D95752-01CC |
| 26 | DT365 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 04-abr-11 | 12.009 | 12009 | 5D96363-01CC |

| | | | | | | |
|----|-------|----------------------------------|-----------|--------|-------|--------------|
| 27 | DT369 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 03-jun-11 | 13.123 | 13123 | 5DB3089-01CC |
| 28 | DT343 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 07-jun-11 | 13.795 | 13795 | 5DB3485-01CC |
| 29 | DT333 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 17-jul-11 | 22.181 | 6715 | 5DB9195-01CC |
| 30 | DT350 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 01-sep-11 | 14.534 | 14534 | 5DC6701-01CC |
| 31 | DT341 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 18-sep-11 | 23.590 | 14064 | 5DC9487-01CC |
| 32 | DT347 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 23-oct-11 | 15.953 | 15953 | 5DD4326-01CC |
| 33 | DT345 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 26-oct-11 | 16.480 | 14049 | 5DD5833-01CC |
| 34 | DT367 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 15-nov-11 | 15.151 | 9864 | 5DD9265-01CC |
| 35 | DT334 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 27-nov-11 | 24.532 | 7856 | 5DD9723-01CC |
| 36 | DT351 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 03-dic-11 | 15.968 | 7068 | 5DE1009-01CC |
| 37 | DT359 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 23-ene-12 | 16.739 | 16739 | 5DF0169-01CC |
| 38 | DT348 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 06-feb-12 | 17.427 | 13198 | 5DF2586-01CC |
| 39 | DT330 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 30-mar-12 | 26.629 | 8425 | 5DG1224-01CC |
| 40 | DT346 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 13-abr-12 | 18.565 | 18565 | 5DE9858-01CC |
| 41 | DT340 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 26-abr-12 | 26.928 | 9160 | 5DG5906-01CC |
| 42 | DT364 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 24-may-12 | 18.946 | 6753 | 5DI0295-01CC |
| 43 | DT356 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 26-jun-12 | 19.814 | 9638 | 5DI5966-01CC |
| 44 | DT337 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 27-jul-12 | 28.180 | 11713 | 5DJ1012-01CC |
| 45 | DT362 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 04-ago-12 | 19.948 | 10370 | 5DJ2734-01CC |
| 46 | DT379 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 11-ago-12 | 13.889 | 13889 | 5DJ3552-01CC |
| 47 | DT381 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 21-ago-12 | 14.308 | 14308 | 5DJ5884-01CC |
| 48 | DT342 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 28-ago-12 | 27.741 | 9871 | 5DJ7130-01CC |
| 49 | DT380 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 15-sep-12 | 14.591 | 14591 | 5DK0696-01CC |
| 50 | DT335 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 17-sep-12 | 28.246 | 14239 | 5DK0878-01CC |
| 51 | DT331 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 25-sep-12 | 30.431 | 12957 | 5DK2189-01CC |
| 52 | DT344 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 28-sep-12 | 22.147 | 11051 | 5DK3236-01CC |
| 53 | DT353 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 30-sep-12 | 22.472 | 13972 | 5DK3515-01CC |
| 54 | DT365 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 09-nov-12 | 21.518 | 9509 | 5DL0584-01CC |
| 55 | DT358 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 12-nov-12 | 22.933 | 8110 | 5DL1060-01CC |
| 56 | DT369 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 25-nov-12 | 22.100 | 8977 | 5DL3599-01CC |
| 57 | DT363 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 16-dic-12 | 21.278 | 13966 | 5DL7517-01CC |
| 58 | DT329 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 04-ene-13 | 31.749 | 10875 | 5DN0743-01CC |
| 59 | DT350 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 15-ene-13 | 23.038 | 8504 | 5DN2987-01CC |
| 60 | DT421 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 25-ene-13 | 10.721 | 10721 | 5DN4990-01CC |
| 61 | DT414 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 26-ene-13 | 12.789 | 12789 | 5DN5277-01CC |
| 62 | DT354 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 07-feb-13 | 23.622 | 13735 | 5DN7712-01CC |
| 63 | DT420 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 05-mar-13 | 11.641 | 11641 | 5DP3312-01CC |
| 64 | DT360 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 07-abr-13 | 23.696 | 13655 | 5DP8374-01CC |
| 65 | DT346 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 14-jun-13 | 26.577 | 8012 | 5DQ8457-01CC |
| 66 | DT347 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 27-jun-13 | 26.964 | 11011 | 5DT0436-01CC |
| 67 | DT362 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 06-jul-13 | 26.221 | 6273 | 5DT1709-01CC |

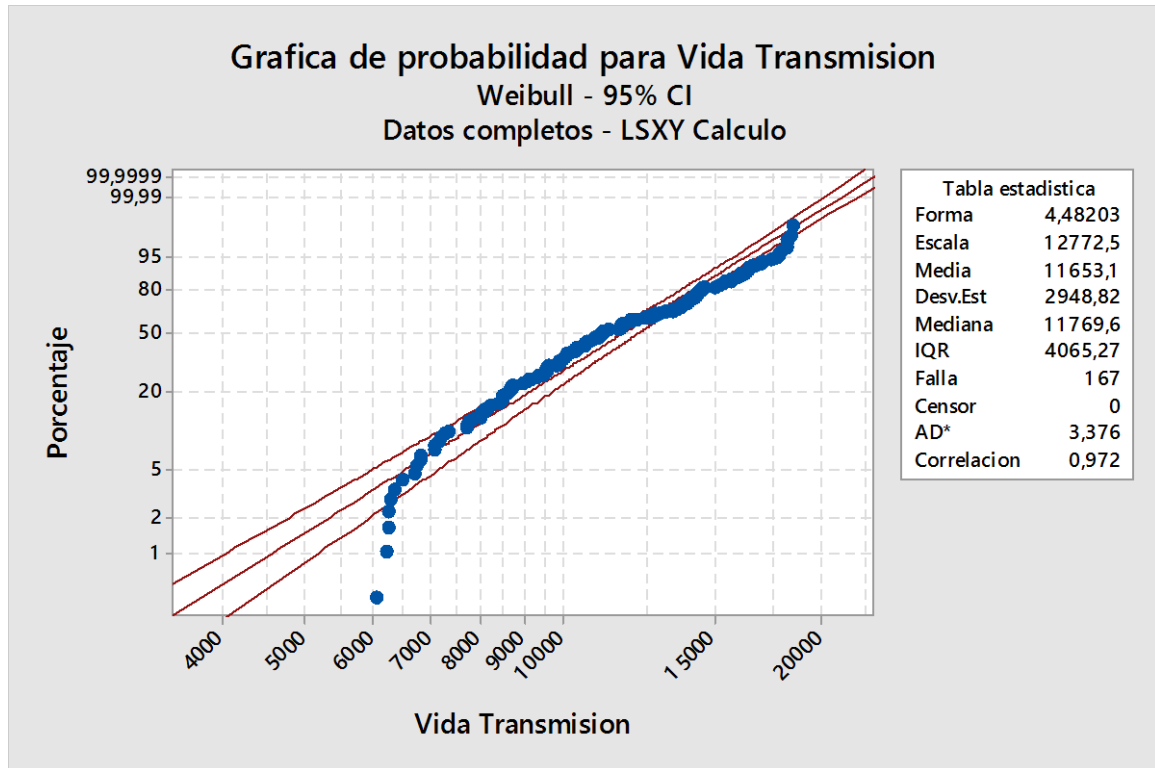
| | | | | | | |
|-----|-------|----------------------------------|-----------|--------|-------|--------------|
| 68 | DT415 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 06-jul-13 | 14.822 | 8194 | 5DT1803-01CC |
| 69 | DT384 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 11-jul-13 | 17.072 | 10579 | 5DT2412-01CC |
| 70 | DT418 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 16-jul-13 | 14.581 | 7352 | 5DT3278-01CC |
| 71 | DT424 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 19-jul-13 | 14.229 | 14229 | 5DT3678-01CC |
| 72 | DT413 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 25-sep-13 | 14.677 | 14677 | 5DU4609-01CC |
| 73 | DT426 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 02-oct-13 | 13.552 | 7754 | 5DU6238-01CC |
| 74 | DT348 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 29-oct-13 | 28.788 | 10803 | 5DW0852-01CC |
| 75 | DT343 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 06-nov-13 | 29.181 | 15386 | 5DW1989-01CC |
| 76 | DT367 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 06-dic-13 | 25.378 | 8645 | 5DW7527-01CC |
| 77 | DT351 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 03-ene-14 | 29.740 | 13773 | 5DX1555-01CC |
| 78 | DT412 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 05-ene-14 | 18.636 | 10332 | 5DX2079-01CC |
| 79 | DT339 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 28-ene-14 | 31.437 | 8691 | 5DX6481-01CC |
| 80 | DT380 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 09-feb-14 | 24.037 | 9447 | 5DX9004-01CC |
| 81 | DT332 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 17-feb-14 | 33.134 | 6242 | 5DY0505-01CC |
| 82 | DT368 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 20-feb-14 | 26.111 | 10843 | 5DY1325-01CC |
| 83 | DT340 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 28-feb-14 | 33.412 | 6485 | 5DY3225-01CC |
| 84 | DT422 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 02-mar-14 | 17.325 | 8456 | 5DY3542-01CC |
| 85 | DT338 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 03-mar-14 | 33.293 | 7194 | 5DY4151-01CC |
| 86 | DT357 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 22-mar-14 | 26.692 | 6819 | 5DY8227-01CC |
| 87 | DT345 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 02-abr-14 | 32.844 | 16363 | 5DZ0378-01CC |
| 88 | DT341 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 03-abr-14 | 34.229 | 10639 | 5DZ1107-01CC |
| 89 | DT419 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 04-may-14 | 16.602 | 10080 | 5DZ2721-01CC |
| 90 | DT337 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 29-may-14 | 35.892 | 7713 | MD04633-01CC |
| 91 | DT356 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 09-jun-14 | 27.998 | 8030 | MD06565-01CC |
| 92 | DT353 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 10-jun-14 | 29.733 | 7261 | MD07015-01CC |
| 93 | DT363 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 15-jun-14 | 28.366 | 7088 | MD07816-01CC |
| 94 | DT336 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 30-jun-14 | 34.774 | 11800 | MD11102-01CC |
| 95 | DT331 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 11-jul-14 | 36.487 | 6056 | MD13298-01CC |
| 96 | DT359 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 15-ago-14 | 29.266 | 12527 | MD16793-01CC |
| 97 | DT354 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 03-sep-14 | 33.428 | 9806 | MD20454-01CC |
| 98 | DT417 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 30-sep-14 | 22.031 | 9987 | MD25898-01CC |
| 99 | DT379 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 01-oct-14 | 28.425 | 9080 | MD26288-01CC |
| 100 | DT370 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 12-oct-14 | 31.567 | 15971 | MD28496-01CC |
| 101 | DT423 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 29-oct-14 | 23.053 | 11991 | MD32167-01CC |
| 102 | DT425 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 04-nov-14 | 22.755 | 15010 | MD33454-01CC |
| 103 | DT333 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 07-dic-14 | 36.477 | 13414 | MD40334-01CC |
| 104 | DT364 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 14-ene-15 | 31.175 | 6221 | MD47552-01CC |
| 105 | DT334 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 28-ene-15 | 37.920 | 8086 | MD50406-01CC |
| 106 | DT421 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 31-ene-15 | 23.078 | 6373 | MD51239-01CC |
| 107 | DT420 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 05-feb-15 | 23.320 | 11679 | MD52058-01CC |
| 108 | DT414 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 07-feb-15 | 24.399 | 8592 | MD52619-01CC |

| | | | | | | |
|-----|-------|----------------------------------|-----------|--------|-------|--------------|
| 109 | DT362 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 26-feb-15 | 37.315 | 11094 | MD56741-01CC |
| 110 | DT351 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 02-abr-15 | 38.489 | 8749 | MD64555-01CC |
| 111 | DT360 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 04-abr-15 | 33.650 | 9954 | MD65461-01CC |
| 112 | DT355 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 07-abr-15 | 32.841 | 9306 | MD65948-01CC |
| 113 | DT342 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 15-abr-15 | 38.013 | 10272 | MD67807-01CC |
| 114 | DT415 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 18-abr-15 | 26.849 | 12027 | MD68339-01CC |
| 115 | DT416 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 14-may-15 | 26.779 | 10370 | MD74198-01CC |
| 116 | DT366 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 15-may-15 | 35.015 | 10886 | MD74323-01CC |
| 117 | DT426 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 18-may-15 | 24.656 | 11103 | MD74886-01CC |
| 118 | DT424 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 24-may-15 | 26.685 | 12456 | MD76065-01CC |
| 119 | DT358 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 04-jun-15 | 34.130 | 11197 | MD78214-01CC |
| 120 | DT418 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 19-jun-15 | 27.386 | 12805 | MD81284-01CC |
| 121 | DT380 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 01-jul-15 | 33.615 | 9577 | MD83720-01CC |
| 122 | DT365 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 03-jul-15 | 35.719 | 14201 | MD83860-01CC |
| 123 | DT346 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 25-oct-15 | 42.436 | 9636 | ME03726-01CC |
| 124 | DT347 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 03-dic-15 | 43.369 | 16405 | ME09196-01CC |
| 125 | DT343 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 03-feb-16 | 43.692 | 14511 | ME18360-01CC |
| 126 | DT356 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 22-feb-16 | 37.553 | 9555 | ME21370-01CC |
| 127 | DT423 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 06-abr-16 | 32.439 | 9386 | ME28087-01CC |
| 128 | DT412 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 09-abr-16 | 29.987 | 9993 | ME28539-01CC |
| 129 | DT425 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 03-may-16 | 32.793 | 10038 | ME32028-01CC |
| 130 | DT345 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 05-jun-16 | 47.009 | 14058 | ME36758-01CC |
| 131 | DT384 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 18-jul-16 | 37.749 | 16650 | ME43717-01CC |
| 132 | DT344 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 24-jul-16 | 47.475 | 15712 | ME44653-01CC |
| 133 | DT419 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 10-ago-16 | 29.246 | 12644 | ME47065-01CC |
| 134 | DT330 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 13-sep-16 | 46.629 | 16339 | ME51345-01CC |
| 135 | DT329 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 14-sep-16 | 45.838 | 14089 | ME52453-01CC |
| 136 | DT363 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 19-nov-16 | 40.183 | 11817 | ME62520-01CC |
| 137 | DT414 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 30-nov-16 | 32.625 | 8226 | ME63954-01CC |
| 138 | DT420 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 02-dic-16 | 32.462 | 9142 | ME64165-01CC |
| 139 | DT361 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 11-dic-16 | 37.475 | 15819 | ME65392-01CC |
| 140 | DT370 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 18-ene-17 | 42.643 | 7160 | ME71043-01CC |
| 141 | DT413 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 28-ene-17 | 30.790 | 16113 | ME72721-01CC |
| 142 | DT364 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 02-feb-17 | 38.898 | 7723 | ME73596-01CC |
| 143 | DT333 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 08-feb-17 | 44.988 | 8511 | ME74620-01CC |
| 144 | DT381 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 18-feb-17 | 40.734 | 8738 | ME75810-01CC |
| 145 | DT359 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 13-mar-17 | 40.890 | 11624 | ME79374-01CC |
| 146 | DT368 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 28-jun-17 | 41.503 | 15393 | ME93678-01CC |
| 147 | DT379 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 29-jun-17 | 46.322 | 17897 | ME93565-01CC |
| 148 | DT346 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 29-jun-17 | 52.777 | 10341 | ME93796-01CC |
| 149 | DT335 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 24-jul-17 | 48.602 | 13703 | ME96863-01CC |

| | | | | | | |
|-----|-------|----------------------------------|-----------|--------|-------|--------------|
| 150 | DT424 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 20-ago-17 | 39.357 | 12672 | MF00841-01CC |
| 151 | DT339 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 10-oct-17 | 47.256 | 14400 | MF07102-01CC |
| 152 | DT332 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 22-oct-17 | 51.545 | 18411 | MF08513-01CC |
| 153 | DT347 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 27-oct-17 | 54.660 | 11291 | MF09451-01CC |
| 154 | DT348 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 30-oct-17 | 53.911 | 17050 | MF09685-01CC |
| 155 | DT365 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 31-oct-17 | 45.797 | 10078 | MF09855-01CC |
| 156 | DT418 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 02-nov-17 | 39.078 | 11692 | MF10121-01CC |
| 157 | DT336 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 26-nov-17 | 48.370 | 13596 | MF13226-01CC |
| 158 | DT338 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 10-dic-17 | 48.460 | 15167 | MF15143-01CC |
| 159 | DT353 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 22-dic-17 | 48.524 | 17998 | MF16012-01CC |
| 160 | DT340 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 13-ene-18 | 49.148 | 15736 | MF19054-01CC |
| 161 | DT352 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 14-ene-18 | 42.797 | 16453 | MF19293-01CC |
| 162 | DT343 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 25-ene-18 | 55.380 | 11688 | MF20563-01CC |
| 163 | DT423 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 20-feb-18 | 42.889 | 10450 | MF24588-01CC |
| 164 | DT361 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 22-feb-18 | 44.288 | 6813 | MF24757-01CC |
| 165 | DT426 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 07-mar-18 | 39.011 | 14355 | MF26394-01CC |
| 166 | DT362 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 08-mar-18 | 53.473 | 16158 | MF26892-01CC |
| 167 | DT357 | 3030.00.CC.00 CAMBIO TRANSMISION | 24-mar-18 | 46.616 | 18277 | MF29014-01CC |

Fuente: Información Software Mantenimiento AMT – Relianz Calenturitas

Figura 22. Grafico para probabilidad de Weibull para vida de transmisión 777F. Marzo 2009 – Marzo 2018



Fuente: El autor. Generada con software Minitab.

La figura 22 nos muestra cada punto que es cada una de las fallas del componente en estudio. En el eje Y se muestra el porcentaje de probabilidad de falla para transmisión. De acuerdo a lo que podemos ver en el gráfico, las transmisiones con 7730 horas tienen el 10% de probabilidad de falla, mientras que los convertidores con 15384 horas tienen el 90% de probabilidad de falla.

El software estadístico Minitab, que fue utilizado para generar las siguientes gráficas, también nos arroja los siguientes parámetros de la distribución:

- **Parámetro de Forma (β):** El valor dado para este caso es de 4,48. Este valor nos lleva a que los datos suministrados están en la zona de la curva de la bañera por envejecimiento o desgaste.

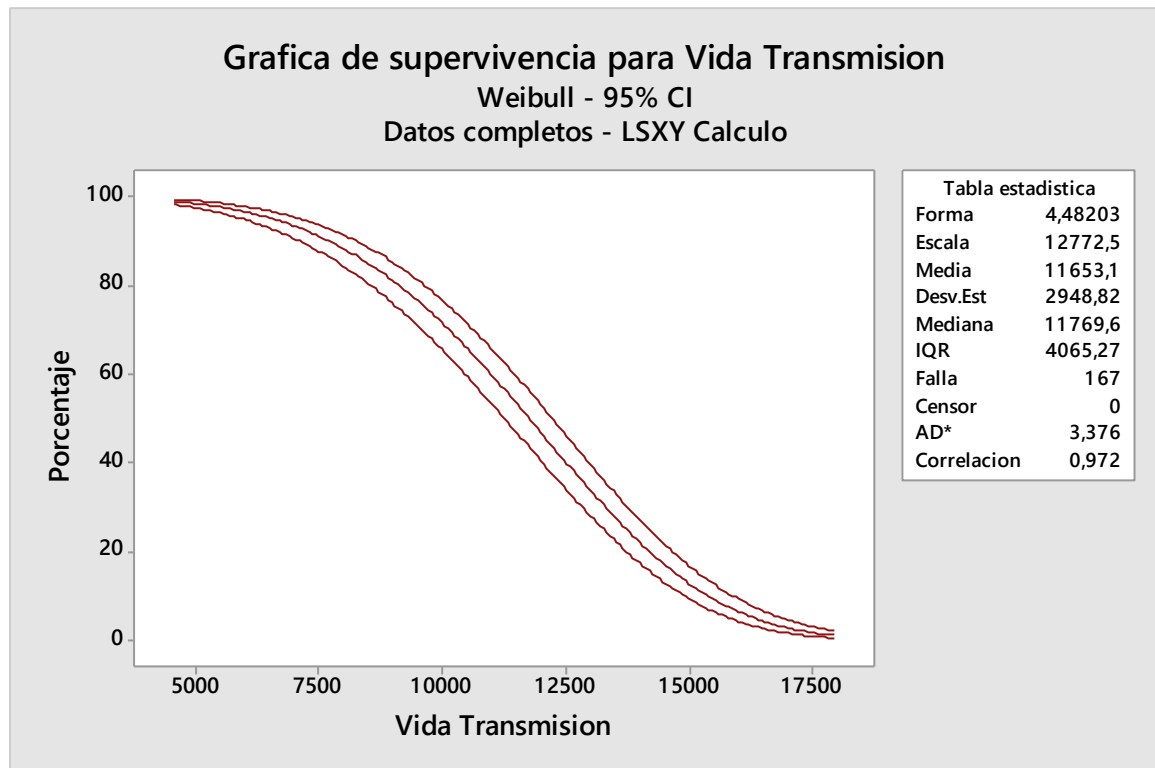
- **Parámetro de escala o característica de vida útil (η):** El valor dado para este caso es de 12772 horas. Este valor es de gran importancia debido a que es la vida característica de las transmisiones. Es la vida del componente cuando presenta una probabilidad de fallas del 63,2%.

En este caso el valor de vida característica para transmisión de 777F se encuentra por debajo del pactado en la proyección de cambio de componentes al inicio del contrato. Esto nos corrobora que el contrato ha generado pérdidas económicas por concepto de cambios de componentes antes de la vida proyectada en este componente. Como el factor financiero es dominante en este proyecto, se deben realizar monitoreo de condiciones constantes y rutas de confiabilidad a este componente con el fin de mejorar la vida esperada. En el momento que se tenga otro contrato de mantenimiento y reparación (MARC), con maquinaria en las mismas condiciones de operación, se debería tomar la vida característica dada para fijar la tarifa por hora de operación.

En este momento se están realizando mejoras por parte de fábrica, debido a las fallas generadas por debajo de las horas determinadas en el manual de mantenimiento.

- **Media y Mediana:** Estos valores no son tenidos en cuenta para este análisis.
- **Desviación Estándar y Rango Intercuartil (IQR):** La desviación estándar mide la variabilidad de acuerdo a la media. En estos casos los datos fueron filtrados para evitar los datos dispersos. No serán tomados en cuenta estos parámetros para el estudio.
- **Correlación:** El valor dado para este caso es de 0,972. Se relación de tal forma que al aumentar uno también lo hace el otro. En este caso está correctamente alineado con Weibull, por lo tanto la prueba se cumple.

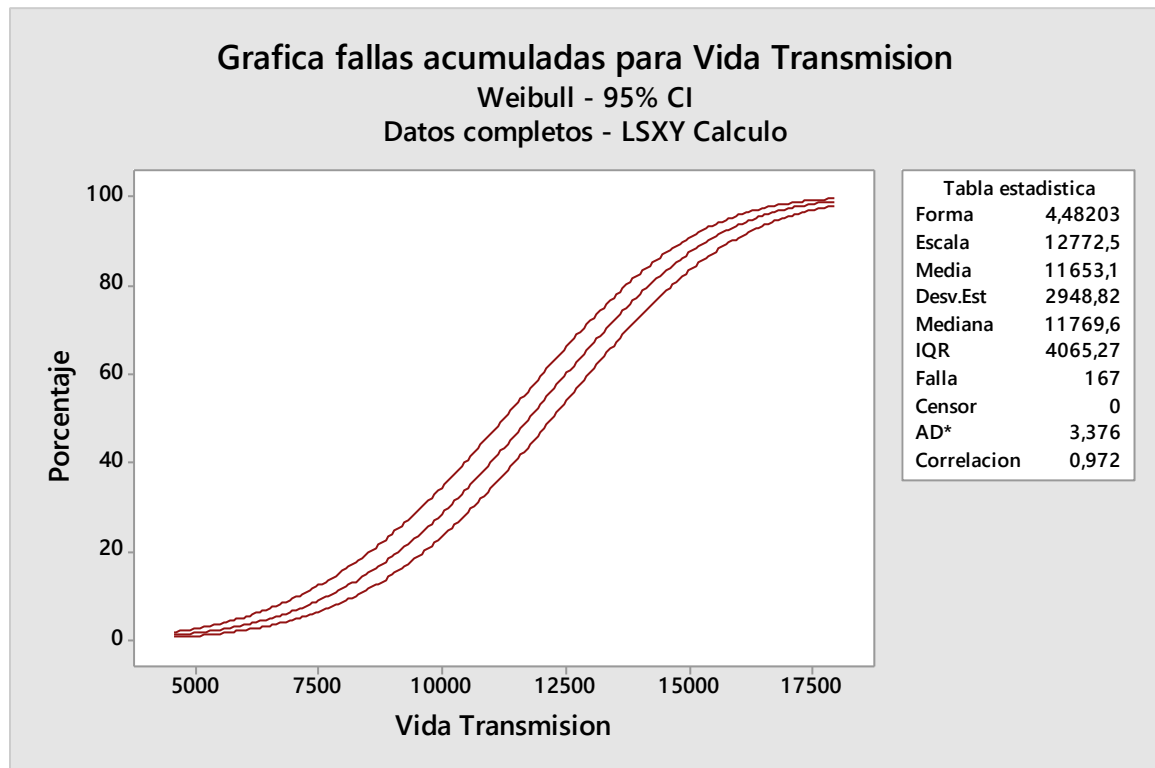
Figura 23. Gráfico de confiabilidad o supervivencia para vida de transmisión 777F. Marzo 2009 – Marzo 2018



Fuente: El autor. Generada con software Minitab.

En la figura 23 se grafica la probabilidad o supervivencia que tiene un componente en función del tiempo en las horas acumuladas de las transmisiones de la mina calenturitas. De acuerdo a la gráfica las transmisiones con 4600 horas, tienen una confiabilidad del 98,97%. Las transmisiones con 11000 horas, tienen una confiabilidad del 59,93%. Las transmisiones con 12772 horas que sería la vida característica propuesta, tienen una confiabilidad del 39%. Los convertidores con 15100 horas, tienen una confiabilidad del 10,68%.

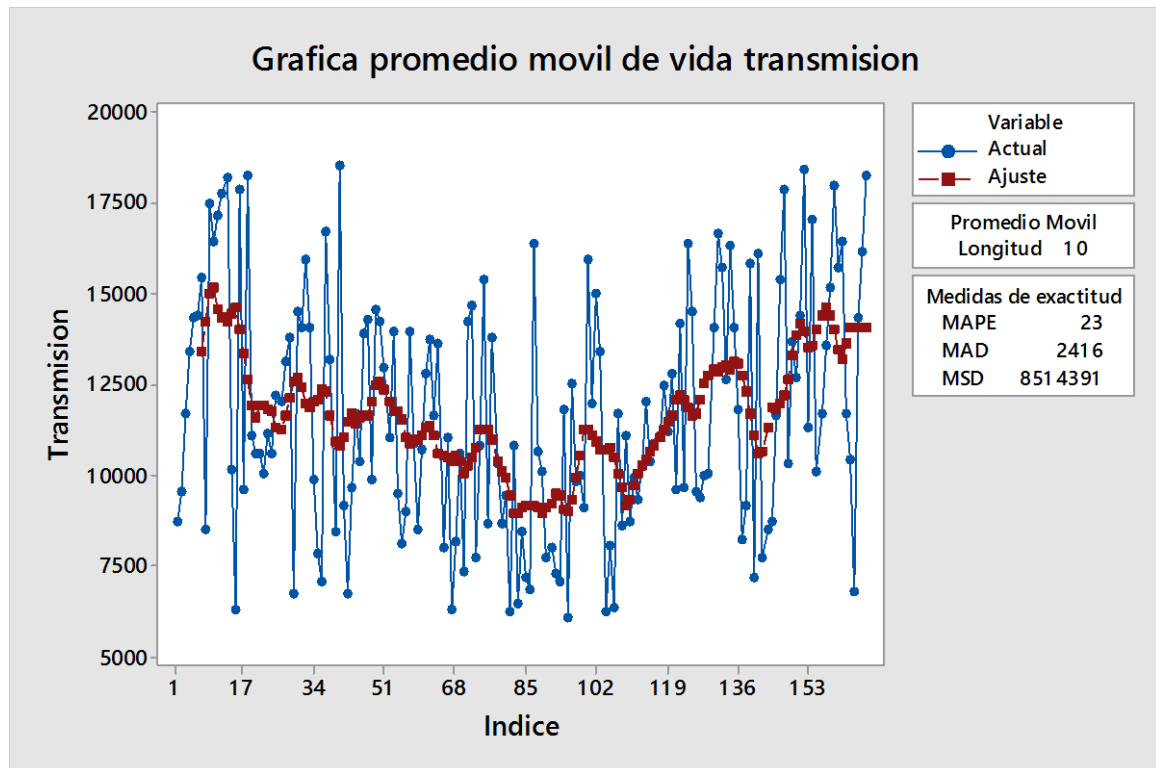
Figura 24. Gráfico de fallas acumuladas para vida de transmisión 777F. Marzo 2009 – Marzo 2018



Fuente: El autor. Generada con software Minitab.

La grafica 24nos muestra las fallas acumuladas a través del tiempo. Cuando aumentan las horas del componente, hay relación directa con la probabilidad de fallar el componente. Este grafico nos muestra la fase III de la curva de la bañera, la cual es la fase de envejecimiento, debido a que tenemos un parámetro de forma (β) de 4,48.

Figura 25. Gráfico de promedio móvil de los últimos 10 cambios de transmisión 777F. Marzo 2009 – Marzo 2018



Fuente: El autor. Generada con software Minitab

En la figura 25 nos muestra el promedio móvil de los últimos 10 cambios de transmisión. La figura nos muestra la tendencia en horas con la que se vienen realizando los cambios de transmisión. En este caso se ve una tendencia en alza en los últimos cambios. El promedio de horas de cambio de transmisión se ha mantenido por encima de las 12000 horas. El promedio de los últimos 10 cambios de transmisión en la flota es de 14000 horas, serian 1500 horas por encima de la vida característica.

5.6. ANÁLISIS DE VIDA DE DIFERENCIAL

En la siguiente tabla se muestra la información detallada del histórico de cambio de diferencial en la flota de camiones 777F de la mina calenturitas. A partir de esta información, realizamos el análisis de vida de componentes en el programa Minitab. El horómetro de cada cambio es ingresado al software para generar una serie de gráficas para su posterior análisis.

Figura 26. Detalle de Diferenciales reparados

| CANTIDAD | EQUIPO | COMPONENTE | FECHA | HORAS EQUIPO | HORAS COMPONENTE | ORDEN DE TRABAJO |
|----------|--------|-------------------------------------|-----------|--------------|------------------|------------------|
| 1 | DT335 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 04-sep-09 | 11.721 | 11.721 | 5DA32337-01CC |
| 2 | DT334 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 04-mar-10 | 15.050 | 15.050 | 5D50152-01CC |
| 3 | DT347 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 29-may-10 | 8.008 | 8.008 | 5D59023-01CC |
| 4 | DT337 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 03-ago-10 | 16.828 | 16.828 | 5D64823-01CC |
| 5 | DT333 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 18-ago-10 | 17.163 | 17.163 | 5D66893-01CC |
| 6 | DT340 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 06-sep-10 | 17.768 | 17.768 | 5D69254-01CC |
| 7 | DT330 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 17-sep-10 | 18.204 | 18.204 | 5D70836-01CC |
| 8 | DT332 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 20-sep-10 | 19.111 | 19.111 | 5D70948-01CC |
| 9 | DT339 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 23-nov-10 | 18.268 | 18.268 | 5D78510-01CC |
| 10 | DT338 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 31-dic-10 | 19.304 | 19.304 | 5D83520-01CC |
| 11 | DT336 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 27-ene-11 | 20.045 | 20.045 | 5D87389-01CC |
| 12 | DT329 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 08-feb-11 | 21.281 | 21.281 | 5D88707-01CC |
| 13 | DT369 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 12-abr-11 | 12.339 | 12.339 | 5D97600-01CC |
| 14 | DT331 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 16-jul-11 | 23.127 | 23.127 | 5DB6103-01CC |
| 15 | DT364 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 21-jul-11 | 13.809 | 13.809 | 5DB9825-01CC |
| 16 | DT360 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 01-ago-11 | 13.466 | 13.466 | 5DC1613-01CC |
| 17 | DT358 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 10-ago-11 | 15.094 | 15.094 | 5DB9461-01CC |
| 18 | DT350 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 01-sep-11 | 14.534 | 14.534 | 5DC6640-01CC |
| 19 | DT341 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 18-sep-11 | 23.590 | 23.590 | 5DC9489-01CC |
| 20 | DT352 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 23-sep-11 | 15.736 | 15.736 | 5DC8194-01CC |
| 21 | DT361 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 04-oct-11 | 15.361 | 15.361 | 5DD1449-01CC |
| 22 | DT353 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 22-oct-11 | 16.653 | 16.653 | 5DD4566-01CC |
| 23 | DT345 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 26-oct-11 | 16.480 | 16.480 | 5DD6077-01CC |
| 24 | DT359 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 08-dic-11 | 16.143 | 16.143 | 5DE1317-01CC |
| 25 | DT356 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 18-ene-12 | 17.390 | 17.390 | 5DE9353-01CC |
| 26 | DT354 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 25-ene-12 | 17.336 | 17.336 | 5DF0519-01CC |

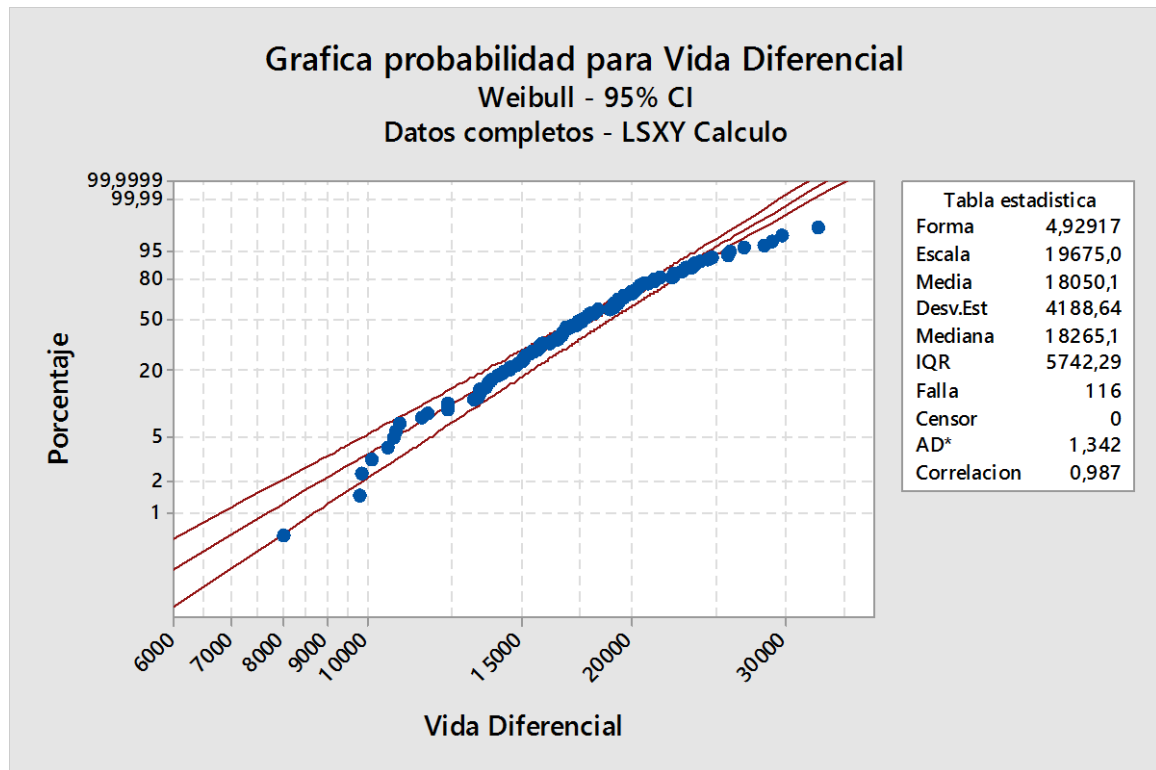
| | | | | | | |
|----|-------|-------------------------------------|-----------|--------|--------|--------------|
| 27 | DT370 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 31-ene-12 | 16.719 | 16.719 | 5DF1209-01CC |
| 28 | DT344 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 11-mar-12 | 18.399 | 18.399 | 5DF7723-01CC |
| 29 | DT362 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 23-mar-12 | 17.632 | 17.632 | 5DF9876-01CC |
| 30 | DT348 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 23-may-12 | 19.135 | 19.135 | 5DG9892-01CC |
| 31 | DT365 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 03-jun-12 | 18.970 | 18.970 | 5DI1717-01CC |
| 32 | DT351 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 14-jun-12 | 19.307 | 19.307 | 5DI3794-01CC |
| 33 | DT340 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 23-jun-12 | 27.895 | 10.127 | 5DI5456-01CC |
| 34 | DT343 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 26-jul-12 | 20.538 | 20.538 | 5DJ0719-01CC |
| 35 | DT379 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 11-ago-12 | 13.889 | 13.889 | 5DJ3557-01CC |
| 36 | DT366 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 09-sep-12 | 20.243 | 20.243 | 5DJ8429-01CC |
| 37 | DT367 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 12-sep-12 | 20.502 | 20.502 | 5DJ9699-01CC |
| 38 | DT335 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 17-sep-12 | 28.246 | 16.525 | 5DK0979-01CC |
| 39 | DT381 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 26-oct-12 | 15.470 | 15.470 | 5DK7801-01CC |
| 40 | DT363 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 17-nov-12 | 20.712 | 20.712 | 5DL1139-01CC |
| 41 | DT368 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 23-nov-12 | 22.480 | 22.480 | 5DL1264-01CC |
| 42 | DT334 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 15-dic-12 | 30.191 | 15.141 | 5DL7367-01CC |
| 43 | DT380 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 02-ene-13 | 16.553 | 16.553 | 5DL9028-01CC |
| 44 | DT384 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 15-feb-13 | 14.765 | 14.765 | 5DN9072-01CC |
| 45 | DT357 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 02-mar-13 | 25.024 | 13.341 | 5DP2524-01CC |
| 46 | DT350 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 04-abr-13 | 24.361 | 9.827 | 5DP7806-01CC |
| 47 | DT426 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 09-abr-13 | 10.524 | 10.524 | 5DP8792-01CC |
| 48 | DT347 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 19-abr-13 | 25.858 | 17.850 | 5DP9749-01CC |
| 49 | DT346 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 14-may-13 | 26.039 | 26.039 | 5DQ3585-01CC |
| 50 | DT415 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 07-jun-13 | 14.534 | 14.534 | 5DQ7154-01CC |
| 51 | DT417 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 19-jul-13 | 14.338 | 14.338 | 5DT3698-01CC |
| 52 | DT412 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 12-ago-13 | 16.228 | 16.228 | 5DT6870-01CC |
| 53 | DT420 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 18-sep-13 | 14.895 | 14.895 | 5DU3593-01CC |
| 54 | DT414 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 29-oct-13 | 15.807 | 15.807 | 5DW0572-01CC |
| 55 | DT413 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 18-nov-13 | 15.413 | 15.413 | 5DW3879-01CC |
| 56 | DT418 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 23-nov-13 | 16.788 | 16.788 | 5DW4761-01CC |
| 57 | DT421 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 26-dic-13 | 16.705 | 16.705 | 5DX0404-01CC |
| 58 | DT337 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 26-ene-14 | 33.737 | 16.909 | 5DX6145-01CC |
| 59 | DT424 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 05-feb-14 | 18.012 | 18.012 | 5DX8015-01CC |
| 60 | DT416 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 15-feb-14 | 18.258 | 18.258 | 5DY0169-01CC |
| 61 | DT419 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 06-mar-14 | 15.671 | 15.671 | 5DY4258-01CC |
| 62 | DT332 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 13-abr-14 | 34.192 | 15.081 | 5DZ2869-01CC |
| 63 | DT336 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 16-abr-14 | 33.512 | 13.467 | 5DZ3580-01CC |
| 64 | DT333 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 26-abr-14 | 32.938 | 15.775 | 5DZ5621-01CC |
| 65 | DT425 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 10-may-14 | 19.393 | 19.393 | MD00513-01CC |
| 66 | DT331 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 25-ago-14 | 36.861 | 13.734 | MD19152-01CC |
| 67 | DT352 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 27-sep-14 | 30.006 | 14.270 | MD24825-01CC |

| | | | | | | |
|-----|-------|-------------------------------------|-----------|--------|--------|--------------|
| 68 | DT330 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 30-sep-14 | 37.230 | 19.025 | MD18930-01CC |
| 69 | DT345 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 06-oct-14 | 36.168 | 19.688 | MD27147-01CC |
| 70 | DT355 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 21-oct-14 | 29.935 | 20.084 | MD30252-01CC |
| 71 | DT423 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 24-nov-14 | 23.541 | 23.541 | MD37036-01CC |
| 72 | DT359 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 23-dic-14 | 31.394 | 13.240 | MD40195-01CC |
| 73 | DT329 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 13-feb-15 | 38.847 | 17.566 | MD53824-01CC |
| 74 | DT339 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 31-mar-15 | 37.752 | 19.159 | MD64084-01CC |
| 75 | DT351 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 02-abr-15 | 38.489 | 19.182 | MD64556-01CC |
| 76 | DT354 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 17-abr-15 | 36.958 | 19.622 | MD68340-01CC |
| 77 | DT344 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 30-abr-15 | 39.754 | 21.356 | MD70976-01CC |
| 78 | DT360 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 19-may-15 | 34.416 | 20.950 | MD75124-01CC |
| 79 | DT348 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 07-jun-15 | 39.479 | 20.344 | MD78647-01CC |
| 80 | DT380 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 24-jun-15 | 33.567 | 17.014 | MD81952-01CC |
| 81 | DT365 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 03-jul-15 | 35.719 | 16.749 | MD83859-01CC |
| 82 | DT356 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 12-jul-15 | 35.176 | 17.786 | MD85441-01CC |
| 83 | DT379 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 17-oct-15 | 35.538 | 21.649 | ME02148-01CC |
| 84 | DT358 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 20-nov-15 | 35.500 | 20.406 | ME07710-01CC |
| 85 | DT416 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 22-nov-15 | 29.019 | 10.761 | ME07808-01CC |
| 86 | DT419 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 18-dic-15 | 26.532 | 10.861 | ME11804-01CC |
| 87 | DT381 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 19-feb-16 | 35.235 | 19.765 | ME20834-01CC |
| 88 | DT343 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 16-abr-16 | 45.027 | 24.489 | ME29480-01CC |
| 89 | DT364 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 16-jul-16 | 36.175 | 22.366 | ME43204-01CC |
| 90 | DT384 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 18-jul-16 | 37.749 | 22.984 | ME43891-01CC |
| 91 | DT369 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 29-ago-16 | 35.612 | 17.394 | ME49889-01CC |
| 92 | DT338 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 30-ago-16 | 42.195 | 22.891 | ME50683-01CC |
| 93 | DT363 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 19-nov-16 | 40.183 | 19.472 | ME62390-01CC |
| 94 | DT423 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 21-nov-16 | 35.915 | 12.374 | ME58410-01CC |
| 95 | DT417 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 04-ene-17 | 31.973 | 17.635 | ME69114-01CC |
| 96 | DT370 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 18-ene-17 | 42.643 | 25.924 | ME71042-01CC |
| 97 | DT426 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 21-ene-17 | 32.374 | 14.087 | ME71859-01CC |
| 98 | DT332 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 22-feb-17 | 47.842 | 13.650 | ME76535-01CC |
| 99 | DT422 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 02-mar-17 | 32.306 | 26.964 | ME77776-01CC |
| 100 | DT336 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 03-mar-17 | 45.034 | 11.522 | ME78198-01CC |
| 101 | DT420 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 27-mar-17 | 34.506 | 19.611 | ME81497-01CC |
| 102 | DT353 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 04-may-17 | 45.077 | 28.424 | ME86392-01CC |
| 103 | DT341 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 16-jun-17 | 47.235 | 23.645 | ME92117-01CC |
| 104 | DT367 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 24-jun-17 | 43.422 | 22.431 | ME92757-01CC |
| 105 | DT362 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 24-jul-17 | 50.403 | 32.771 | ME96772-01CC |
| 106 | DT361 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 11-ago-17 | 41.245 | 25.884 | ME99008-01CC |
| 107 | DT354 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 18-sep-17 | 46.756 | 9.798 | MF04301-01CC |
| 108 | DT350 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 28-sep-17 | 48.336 | 23.975 | MF04646-01CC |

| | | | | | | |
|-----|-------|-------------------------------------|-----------|--------|--------|--------------|
| 109 | DT347 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 12-nov-17 | 54.873 | 29.015 | MF11117-01CC |
| 110 | DT335 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 08-dic-17 | 50.714 | 22.468 | MF13851-01CC |
| 111 | DT357 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 25-dic-17 | 45.186 | 20.162 | MF16954-01CC |
| 112 | DT340 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 13-ene-18 | 49.148 | 21.253 | MF19414-01CC |
| 113 | DT415 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 18-ene-18 | 39.338 | 24.803 | MF19780-01CC |
| 114 | DT346 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 13-feb-18 | 55.912 | 29.873 | MF23346-01CC |
| 115 | DT331 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 01-mar-18 | 47.591 | 10.730 | MF25771-01CC |
| 116 | DT412 | 3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL | 15-mar-18 | 41.013 | 19.934 | MF27940-01CC |

Fuente: Información Software Mantenimiento AMT – Relianz Calenturitas

Figura 27. Grafico para probabilidad de Weibull para vida de diferencial 777F. Septiembre 2009 – Marzo 2018



Fuente: El autor. Generada con software Minitab.

La figura 27 nos muestra cada punto que es cada una de las fallas del componente en estudio. En el eje Y se muestra el porcentaje de probabilidad de falla para diferencial. De acuerdo a lo que podemos ver en el gráfico, los diferenciales con 12622 horas tienen el 10% de probabilidad de falla, mientras que los diferenciales con 23253 horas tienen el 90% de probabilidad de falla.

El software estadístico Minitab, que fue utilizado para generar las siguientes gráficas, también nos arroja los siguientes parámetros de la distribución:

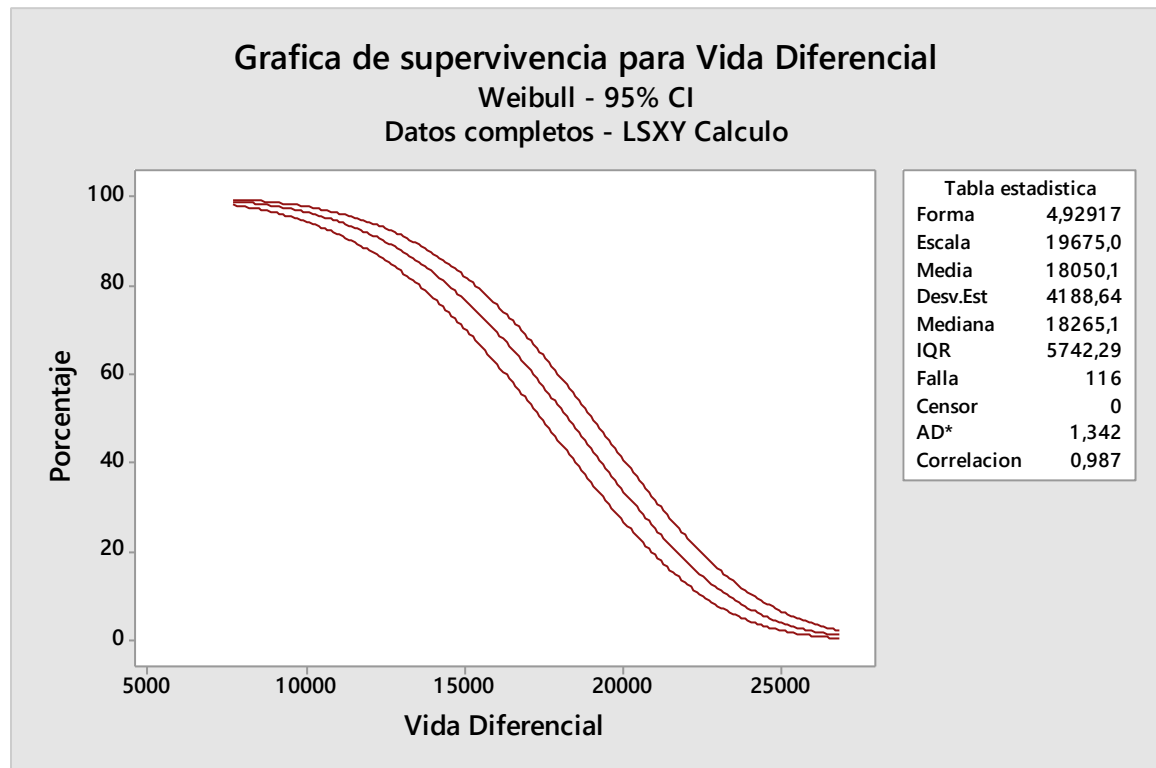
- **Parámetro de Forma (β):** El valor dado para este caso es de 4,92. Este valor nos lleva a que los datos suministrados están en la zona de la curva de la bañera por envejecimiento o desgaste.

- **Parámetro de escala o característica de vida útil (η):** El valor dado para este caso es de 19675 horas. Este valor es de gran importancia debido a que es la vida característica de las transmisiones. Es la vida del componente cuando presenta una probabilidad de fallas del 63,2%.

En este caso el valor de vida característica para diferencial de 777F se encuentra por encima del pactado en la proyección de cambio de componentes al inicio del contrato. Esto nos corrobora que el contrato no ha generado pérdidas económicas por concepto de cambios de componentes antes de la vida proyectada. Por concepto de ahorro en los costos, se debería actualizar el plan de mantenimiento de cambio de componentes por horas de servicio a la vida característica dada en el presente proyecto. En el momento que se tenga otro contrato de mantenimiento y reparación (MARC), con maquinaria en las mismas condiciones de operación, se debería tomar la vida característica dada para fijar la tarifa por hora de operación. Esto siguiendo un programa de mantenimiento preventivo basado en la condición del componente.

- **Media y Mediana:** Estos valores no son tenidos en cuenta para este análisis.
- **Desviación Estándar y Rango Intercuartil (IQR):** La desviación estándar mide la variabilidad de acuerdo a la media. En estos casos los datos fueron filtrados para evitar los datos dispersos. No serán tomados en cuenta estos parámetros para el estudio.
- **Correlación:** El valor dado para este caso es de 0,987. Se relación de tal forma que al aumentar uno también lo hace el otro. En este caso está correctamente alineado con Weibull, por lo tanto la prueba se cumple.

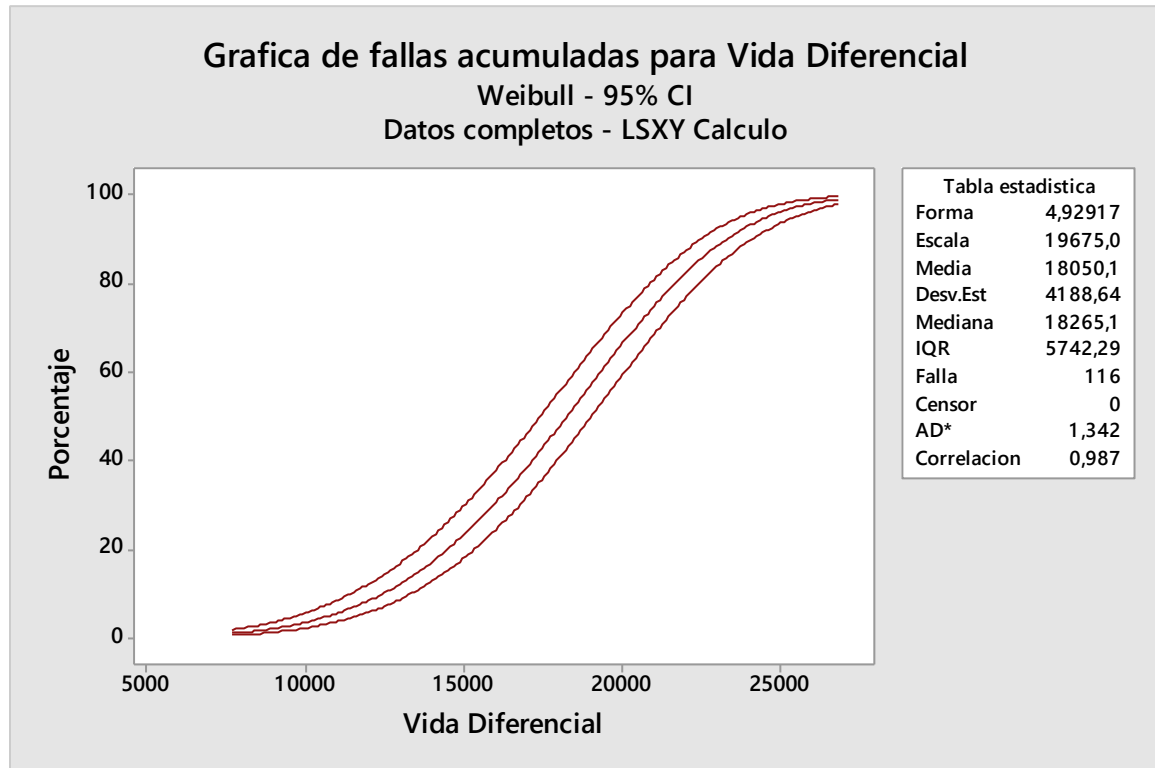
Figura 28. Gráfico de confiabilidad o supervivencia para vida de diferencial 777F. Septiembre 2009 – Marzo 2018



Fuente: El autor. Generada con software Minitab

En la figura 28 se grafica la probabilidad o supervivencia que tiene un componente en función del tiempo en las horas acumuladas de los diferenciales de la mina calenturitas. De acuerdo a la gráfica los diferenciales con 8000 horas, tienen una confiabilidad del 98,95%. Las diferenciales con 18000 horas, tienen una confiabilidad del 53,14%. Las diferenciales con 19675 horas que sería la vida característica propuesta, tienen una confiabilidad del 39,46%. Los diferenciales con 23000 horas, tienen una confiabilidad del 11,32%.

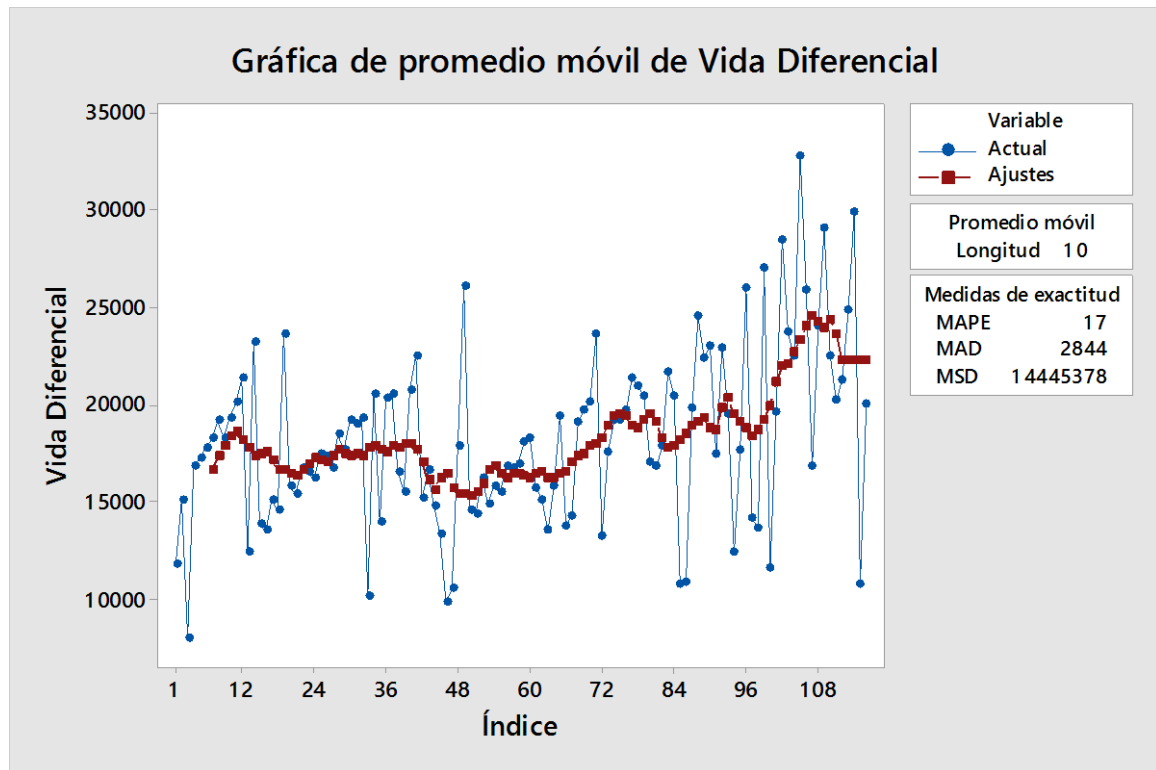
Figura 29. Gráfico de fallas acumuladas para vida de diferencial 777F. Septiembre 2009 – Marzo 2018



Fuente: El autor. Generada con software Minitab.

La figura 29 nos muestra las fallas acumuladas a través del tiempo. Cuando aumentan las horas del componente, hay relación directa con la probabilidad de fallar el componente. Este grafico nos muestra la fase III de la curva de la bañera, la cual es la fase de envejecimiento, debido a que tenemos un parámetro de forma (β) de 4,92.

Figura 30. Gráfico de promedio móvil de los últimos 10 cambios de diferencial 777F. Septiembre 2009 – Marzo 2018



Fuente: El autor. Generada con software Minitab

La figura 30 nos muestra el promedio móvil de los últimos 10 cambios de diferencial. La figura nos muestra la tendencia en horas con la que se vienen realizando los cambios de diferencial. En este caso se ve una tendencia en alza en los últimos cambios. El promedio de horas de cambio de diferencial se ha mantenido por encima de las 15000 horas. El promedio de los últimos 10 cambios de diferencial en la flota es de 22193 horas, serian 2518 horas por encima de la vida característica.

5.7. ANÁLISIS DE VIDA DE MANDOS FINALES

En la siguiente tabla se muestra la información detallada del histórico de cambio de mandos finales en la flota de camiones 777F de la mina calenturitas. A partir de esta información, realizamos el análisis de vida de componentes en el programa Minitab. El horómetro de cada cambio es ingresado al software para generar una serie de gráficas para su posterior análisis.

Tabla 11. Detalle histórico de cambio de Mandos Finales

| CANTIDAD | EQUIPO | COMPONENTE | FECHA | HORAS EQUIPO | HORAS COMPONENTE | ORDEN DE TRABAJO |
|----------|--------|----------------------------------|-----------|--------------|------------------|------------------|
| 1 | DT342 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 18-may-09 | 9.829 | 9.829 | 5DA24478-01CC |
| 2 | DT340 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 13-ago-09 | 11.475 | 11.475 | 5DA31061-01CC |
| 3 | DT340 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 13-ago-09 | 11.475 | 11.475 | 5DA31056-01CC |
| 4 | DT335 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 04-sep-09 | 11.721 | 11.721 | 5DA33534-01R |
| 5 | DT335 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 04-sep-09 | 11.721 | 11.721 | 5DA33535-01F |
| 6 | DT329 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 16-ene-10 | 15.394 | 15.394 | 5DA45737-01CC |
| 7 | DT337 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 20-ene-10 | 13.944 | 13.944 | 5DA46167-01CC |
| 8 | DT337 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 20-ene-10 | 13.944 | 13.944 | 5DA46168-01CC |
| 9 | DT334 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 04-mar-10 | 15.050 | 15.050 | 5D50151-01CC |
| 10 | DT334 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 04-mar-10 | 15.050 | 15.050 | 5D50150-01CC |
| 11 | DT339 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 06-mar-10 | 14.462 | 14.462 | 5D50768-01CC |
| 12 | DT339 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 06-mar-10 | 14.462 | 14.462 | 5D50767-01CC |
| 13 | DT330 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 28-may-10 | 16.653 | 16.653 | 5D58805-01CC |
| 14 | DT330 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 28-may-10 | 16.653 | 16.653 | 5D56176-01CC |
| 15 | DT347 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 29-may-10 | 8.008 | 8.008 | 5D58935-01CC |
| 16 | DT347 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 29-may-10 | 8.008 | 8.008 | 5D58936-01CC |
| 17 | DT341 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 18-jun-10 | 16.765 | 16.765 | 5D58277-01CC |
| 18 | DT333 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 18-ago-10 | 17.163 | 17.163 | 5D67036-01CC |
| 19 | DT345 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 27-ago-10 | 9.760 | 9.760 | 5D68128-01CC |
| 20 | DT332 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 20-sep-10 | 19.111 | 19.111 | 5D69535-01CC |
| 21 | DT340 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 22-sep-10 | 17.992 | 6.517 | 5D71365-01CC |
| 22 | DT344 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 08-oct-10 | 10.088 | 10.088 | 5D70565-01CC |
| 23 | DT329 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 22-nov-10 | 20.068 | 20.068 | 5D78994-01CC |
| 24 | DT368 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 12-dic-10 | 10.096 | 10.096 | 5D81399-01CC |
| 25 | DT358 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 13-dic-10 | 11.066 | 11.066 | 5D81222-01CC |
| 26 | DT338 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 31-dic-10 | 19.304 | 19.304 | 5D83843-01CC |

| | | | | | | |
|----|-------|----------------------------------|-----------|--------|--------|--------------|
| 27 | DT338 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 31-dic-10 | 19.304 | 19.304 | 5D83842-01CC |
| 28 | DT351 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 26-ene-11 | 11.532 | 11.532 | 5950843-01CC |
| 29 | DT351 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 26-ene-11 | 11.532 | 11.532 | 5950844-01CC |
| 30 | DT336 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 27-ene-11 | 20.045 | 20.045 | 5D87533-01CC |
| 31 | DT336 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 27-ene-11 | 20.045 | 20.045 | 5D87532-01CC |
| 32 | DT354 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 14-feb-11 | 12.497 | 12.497 | 5D89729-01CC |
| 33 | DT354 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 14-feb-11 | 12.497 | 12.497 | 5D89730-01CC |
| 34 | DT342 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 18-mar-11 | 20.052 | 10.223 | 5D93844-01CC |
| 35 | DT362 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 26-mar-11 | 11.978 | 11.978 | 5D95139-01CC |
| 36 | DT362 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 26-mar-11 | 11.978 | 11.978 | 5D95138-01CC |
| 37 | DT352 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 17-may-11 | 13.811 | 13.811 | 5DB0809-01CC |
| 38 | DT352 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 17-may-11 | 13.811 | 13.811 | 5DB0808-01CC |
| 39 | DT355 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 09-jun-11 | 13.045 | 13.045 | 5DB3629-01CC |
| 40 | DT355 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 09-jun-11 | 13.045 | 13.045 | 5DB3630-01CC |
| 41 | DT357 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 15-jul-11 | 14.846 | 14.846 | 5C52358-01CC |
| 42 | DT357 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 15-jul-11 | 14.846 | 14.846 | 5DB7727-01CC |
| 43 | DT364 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 21-jul-11 | 13.809 | 13.809 | 5DB9449-01CC |
| 44 | DT364 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 21-jul-11 | 13.809 | 13.809 | 5DB9450-01CC |
| 45 | DT333 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 24-jul-11 | 22.270 | 14.497 | 5DB9863-01CC |
| 46 | DT360 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 01-ago-11 | 13.466 | 13.466 | 5DC1615-01CC |
| 47 | DT360 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 01-ago-11 | 13.466 | 13.466 | 5DC1614-01CC |
| 48 | DT361 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 07-ago-11 | 14.441 | 14.441 | 5DC2187-01CC |
| 49 | DT361 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 07-ago-11 | 14.441 | 14.441 | 5DC2186-01CC |
| 50 | DT368 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 25-ago-11 | 14.533 | 14.533 | 5DB6069-01CC |
| 51 | DT350 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 01-sep-11 | 14.534 | 14.534 | 5DC6592-01CC |
| 52 | DT350 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 01-sep-11 | 14.534 | 14.534 | 5DC6594-01CC |
| 53 | DT353 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 17-sep-11 | 16.140 | 16.140 | 5DC8654-01CC |
| 54 | DT353 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 17-sep-11 | 16.140 | 16.140 | 5DC9105-01CC |
| 55 | DT365 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 29-sep-11 | 14.846 | 14.846 | 5DD1510-01CC |
| 56 | DT370 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 02-oct-11 | 15.135 | 15.135 | 5DD2192-01CC |
| 57 | DT370 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 02-oct-11 | 15.135 | 15.135 | 5DD2191-01CC |
| 58 | DT346 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 23-oct-11 | 15.818 | 15.818 | 5DD5137-01CC |
| 59 | DT346 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 23-oct-11 | 15.818 | 15.818 | 5DD5138-01CC |
| 60 | DT332 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 24-oct-11 | 25.525 | 16.239 | 5DD5322-01CC |
| 61 | DT369 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 02-nov-11 | 15.593 | 15.593 | 5DD6547-01CC |
| 62 | DT369 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 02-nov-11 | 15.593 | 15.593 | 5DD6983-01CC |
| 63 | DT331 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 26-nov-11 | 24.972 | 15.235 | 5DD6051-01CC |
| 64 | DT331 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 26-nov-11 | 24.972 | 14.681 | 5DD6050-01CC |
| 65 | DT359 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 08-dic-11 | 16.143 | 16.143 | 5DE1310-01CC |
| 66 | DT359 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 08-dic-11 | 16.143 | 16.143 | 5DE1305-01CC |
| 67 | DT341 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 20-dic-11 | 24.698 | 14.905 | 5DE3289-01CC |

| | | | | | | |
|-----|-------|----------------------------------|-----------|--------|--------|--------------|
| 68 | DT356 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 18-ene-12 | 17.390 | 17.390 | 5DE9354-01CC |
| 69 | DT356 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 18-ene-12 | 17.390 | 12.873 | 5DE9355-01CC |
| 70 | DT342 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 10-feb-12 | 24.248 | 13.714 | 5DE8764-01CC |
| 71 | DT381 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 06-abr-12 | 11.955 | 11.955 | 5DG2060-01CC |
| 72 | DT381 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 06-abr-12 | 11.955 | 11.955 | 5DG2058-01CC |
| 73 | DT337 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 22-abr-12 | 26.421 | 12.476 | 5DG4458-01CC |
| 74 | DT365 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 03-may-12 | 18.433 | 18.433 | 5DG6607-01CC |
| 75 | DT334 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 24-jul-12 | 27.633 | 12.583 | 5DJ0203-01CC |
| 76 | DT334 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 24-jul-12 | 27.633 | 12.583 | 5DJ0206-01CC |
| 77 | DT379 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 11-ago-12 | 13.889 | 13.889 | 5DJ3530-01CC |
| 78 | DT379 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 11-ago-12 | 13.889 | 13.889 | 5DJ3562-01CC |
| 79 | DT339 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 31-ago-12 | 27.555 | 13.093 | 5DJ7648-01CC |
| 80 | DT413 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 06-sep-12 | 10.158 | 10.158 | 5DJ9029-01CC |
| 81 | DT335 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 17-sep-12 | 28.246 | 16.525 | 5DC1933-01CC |
| 82 | DT335 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 17-sep-12 | 28.246 | 16.525 | 5DK0980-01CC |
| 83 | DT341 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 04-oct-12 | 29.696 | 12.931 | 5DK0205-01CC |
| 84 | DT339 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 05-nov-12 | 28.667 | 14.205 | 5DJ7649-01CC |
| 85 | DT368 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 23-nov-12 | 22.480 | 12.384 | 5DL1265-01CC |
| 86 | DT345 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 24-nov-12 | 23.275 | 13.515 | 5DL3493-01CC |
| 87 | DT345 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 24-nov-12 | 23.275 | 13.515 | 5DL3492-01CC |
| 88 | DT340 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 02-ene-13 | 31.365 | 13.373 | 5DN0301-01CC |
| 89 | DT340 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 02-ene-13 | 31.365 | 13.373 | 5DN0425-01CC |
| 90 | DT380 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 02-ene-13 | 16.553 | 16.553 | 5DL9003-01CC |
| 91 | DT380 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 02-ene-13 | 16.553 | 16.553 | 5DL9029-01CC |
| 92 | DT332 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 27-ene-13 | 31.986 | 12.875 | 5DN5435-01CC |
| 93 | DT384 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 15-feb-13 | 14.765 | 14.765 | 5DN9074-01CC |
| 94 | DT384 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 15-feb-13 | 14.765 | 14.765 | 5DN9073-01CC |
| 95 | DT367 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 21-feb-13 | 23.219 | 13.891 | 5DL8051-01CC |
| 96 | DT367 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 08-mar-13 | 23.229 | 13.901 | 5DP3824-01CC |
| 97 | DT347 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 19-abr-13 | 25.858 | 17.850 | 5DP9750-01CC |
| 98 | DT347 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 19-abr-13 | 25.858 | 17.850 | 5DP9754-01CC |
| 99 | DT344 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 17-may-13 | 26.550 | 16.462 | 5DQ4106-01CC |
| 100 | DT344 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 17-may-13 | 26.550 | 16.462 | 5DQ4105-01CC |
| 101 | DT415 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 07-jun-13 | 14.534 | 14.534 | 5DQ7143-01CC |
| 102 | DT415 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 07-jun-13 | 14.534 | 14.534 | 5DQ7142-01CC |
| 103 | DT414 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 05-jul-13 | 13.875 | 13.875 | 5DT1706-01CC |
| 104 | DT412 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 13-jul-13 | 15.688 | 15.688 | 5DT2713-01CC |
| 105 | DT414 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 23-jul-13 | 14.172 | 14.172 | 5DT4378-01CC |
| 106 | DT412 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 12-ago-13 | 16.228 | 16.228 | 5DT6871-01CC |
| 107 | DT351 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 21-ago-13 | 27.213 | 15.681 | 5DT8499-01CC |
| 108 | DT351 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 21-ago-13 | 27.213 | 15.681 | 5DT8498-01CC |

| | | | | | | |
|-----|-------|----------------------------------|-----------|--------|--------|--------------|
| 109 | DT362 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 24-ago-13 | 27.138 | 15.160 | 5DT4439-01CC |
| 110 | DT362 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 24-ago-13 | 27.138 | 15.160 | 5DT4438-01CC |
| 111 | DT348 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 02-sep-13 | 27.729 | 13.921 | 5DU1122-01CC |
| 112 | DT420 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 18-sep-13 | 14.895 | 14.895 | 5DU3592-01CC |
| 113 | DT420 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 18-sep-13 | 14.895 | 14.895 | 5DU3591-01CC |
| 114 | DT343 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 24-sep-13 | 28.342 | 15.525 | 5DU2007-01CC |
| 115 | DT417 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 30-sep-13 | 15.597 | 15.597 | 5DU5744-01CC |
| 116 | DT418 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 11-oct-13 | 16.197 | 16.197 | 5DU7643-01CC |
| 117 | DT418 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 11-oct-13 | 16.197 | 16.197 | 5DU7642-01CC |
| 118 | DT413 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 31-oct-13 | 15.132 | 15.132 | 5DW1141-01CC |
| 119 | DT343 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 06-nov-13 | 29.181 | 16.364 | 5DW1990-01CC |
| 120 | DT417 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 19-nov-13 | 16.380 | 16.380 | 5DW3521-01CC |
| 121 | DT426 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 04-dic-13 | 14.735 | 14.735 | 5DW6410-01CC |
| 122 | DT426 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 04-dic-13 | 14.735 | 14.735 | 5DW6411-01CC |
| 123 | DT421 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 26-dic-13 | 16.705 | 16.705 | 5DX0406-01CC |
| 124 | DT421 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 26-dic-13 | 16.705 | 16.705 | 5DX0405-01CC |
| 125 | DT424 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 05-feb-14 | 18.012 | 18.012 | 5DX8017-01CC |
| 126 | DT424 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 05-feb-14 | 18.012 | 18.012 | 5DX8016-01CC |
| 127 | DT416 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 15-feb-14 | 18.258 | 18.258 | 5DY0168-01CC |
| 128 | DT416 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 15-feb-14 | 18.258 | 18.258 | 5DY0167-01CC |
| 129 | DT419 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 06-mar-14 | 15.671 | 15.671 | 5DY4259-01CC |
| 130 | DT419 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 06-mar-14 | 15.671 | 15.671 | 5DY4260-01CC |
| 131 | DT422 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 12-mar-14 | 17.530 | 12.188 | 5DY6105-01CC |
| 132 | DT354 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 16-mar-14 | 30.417 | 13.081 | 5DY6778-01CC |
| 133 | DT336 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 16-abr-14 | 33.512 | 13.467 | 5DZ3582-01CC |
| 134 | DT336 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 16-abr-14 | 33.512 | 13.467 | 5DY2414-01CC |
| 135 | DT333 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 26-abr-14 | 32.938 | 15.775 | 5DZ5630-01CC |
| 136 | DT425 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 10-may-14 | 19.393 | 19.393 | MD00515-01CC |
| 137 | DT425 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 10-may-14 | 19.393 | 19.393 | MD00514-01CC |
| 138 | DT358 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 08-jun-14 | 28.107 | 17.041 | MD06041-01CC |
| 139 | DT358 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 08-jun-14 | 28.107 | 17.041 | MD06043-01CC |
| 140 | DT355 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 10-jul-14 | 28.203 | 15.158 | MD13076-01CC |
| 141 | DT330 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 28-ago-14 | 36.635 | 19.982 | MD18928-01CC |
| 142 | DT330 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 28-ago-14 | 36.635 | 19.982 | MD18929-01CC |
| 143 | DT363 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 02-sep-14 | 29.617 | 14.768 | MD20115-01CC |
| 144 | DT352 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 27-sep-14 | 30.006 | 16.195 | MD24826-01CC |
| 145 | DT352 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 27-sep-14 | 30.006 | 16.195 | MD24824-01CC |
| 146 | DT337 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 09-oct-14 | 38.168 | 17.820 | MD27176-01CC |
| 147 | DT333 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 17-oct-14 | 35.659 | 13.389 | MD29870-01CC |
| 148 | DT355 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 21-oct-14 | 29.935 | 16.890 | MD30251-01CC |
| 149 | DT329 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 17-nov-14 | 37.861 | 17.170 | MD35967-01CC |

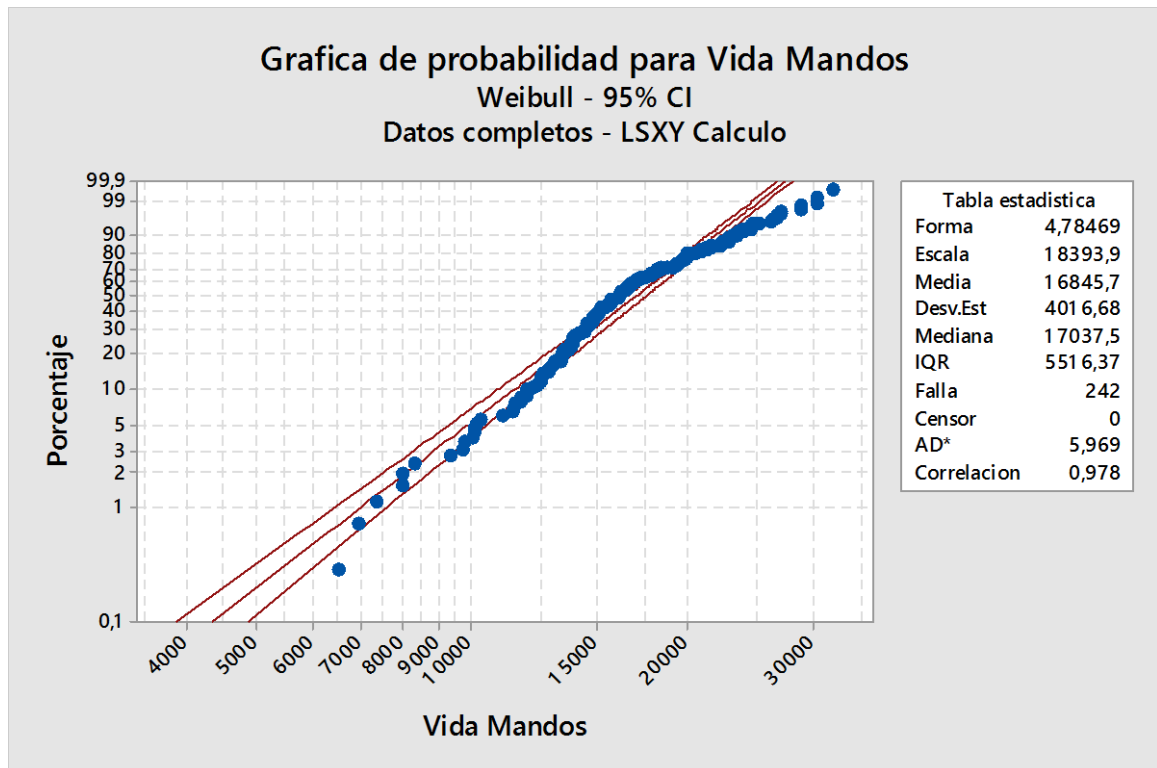
| | | | | | | |
|-----|-------|----------------------------------|-----------|--------|--------|--------------|
| 150 | DT329 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 17-nov-14 | 37.861 | 17.794 | MD35968-01CC |
| 151 | DT366 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 19-nov-14 | 32.171 | 19.868 | MD36341-01CC |
| 152 | DT366 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 19-nov-14 | 32.171 | 19.868 | MD36342-01CC |
| 153 | DT423 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 24-nov-14 | 23.541 | 23.541 | MD37052-01CC |
| 154 | DT423 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 24-nov-14 | 23.541 | 23.541 | MD37040-01CC |
| 155 | DT346 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 19-dic-14 | 37.139 | 21.321 | MD42900-01CC |
| 156 | DT367 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 26-dic-14 | 31.580 | 8.351 | MD43378-01CC |
| 157 | DT363 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 06-ene-15 | 31.675 | 19.475 | MD45502-01CC |
| 158 | DT362 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 13-ene-15 | 36.528 | 9.390 | MD46753-01CC |
| 159 | DT370 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 21-ene-15 | 33.391 | 18.256 | MD48706-01CC |
| 160 | DT370 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 21-ene-15 | 33.391 | 18.256 | MD48707-01CC |
| 161 | DT348 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 07-feb-15 | 37.229 | 19.456 | MD52600-01CC |
| 162 | DT359 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 08-feb-15 | 32.233 | 16.090 | MD52736-01CC |
| 163 | DT357 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 22-feb-15 | 31.754 | 16.908 | MD55709-01CC |
| 164 | DT359 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 11-mar-15 | 32.850 | 16.707 | MD59952-01CC |
| 165 | DT356 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 22-mar-15 | 33.055 | 15.665 | MD62547-01CC |
| 166 | DT346 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 30-mar-15 | 39.047 | 23.229 | MD63371-01CC |
| 167 | DT354 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 17-abr-15 | 36.958 | 19.622 | MD68780-01CC |
| 168 | DT360 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 19-may-15 | 34.416 | 20.950 | MD75146-01CC |
| 169 | DT360 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 19-may-15 | 34.416 | 20.950 | MD75143-01CC |
| 170 | DT380 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 24-jun-15 | 33.567 | 17.014 | MD81953-01CC |
| 171 | DT380 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 24-jun-15 | 33.567 | 17.014 | MD81954-01CC |
| 172 | DT365 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 03-jul-15 | 35.719 | 20.873 | MD83865-01CC |
| 173 | DT365 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 03-jul-15 | 35.719 | 17.286 | MD83864-01CC |
| 174 | DT356 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 12-jul-15 | 35.176 | 17.786 | MD85442-01CC |
| 175 | DT350 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 13-oct-15 | 36.022 | 21.449 | ME01619-01CC |
| 176 | DT350 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 13-oct-15 | 36.022 | 21.488 | ME01620-01CC |
| 177 | DT379 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 17-oct-15 | 35.538 | 21.649 | ME02149-01CC |
| 178 | DT379 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 17-oct-15 | 35.538 | 21.649 | ME02150-01CC |
| 179 | DT358 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 20-nov-15 | 35.500 | 7.393 | ME07492-01CC |
| 180 | DT418 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 06-ene-16 | 29.588 | 13.391 | ME14345-01CC |
| 181 | DT414 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 12-ene-16 | 29.304 | 15.132 | ME10535-01CC |
| 182 | DT424 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 25-mar-16 | 32.108 | 14.096 | ME26460-01CC |
| 183 | DT381 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 21-abr-16 | 35.998 | 24.043 | ME30304-01CC |
| 184 | DT381 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 21-abr-16 | 35.998 | 24.043 | ME30305-01CC |
| 185 | DT420 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 07-may-16 | 29.341 | 14.446 | ME32565-01CC |
| 186 | DT364 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 16-jul-16 | 36.175 | 22.366 | ME43205-01CC |
| 187 | DT364 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 16-jul-16 | 36.175 | 22.366 | ME43206-01CC |
| 188 | DT384 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 18-jul-16 | 37.749 | 22.984 | ME43888-01CC |
| 189 | DT384 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 18-jul-16 | 37.749 | 22.984 | ME43887-01CC |
| 190 | DT369 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 29-ago-16 | 35.612 | 20.019 | ME49890-01CC |

| | | | | | | |
|-----|-------|----------------------------------|-----------|--------|--------|--------------|
| 191 | DT369 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 29-ago-16 | 35.612 | 20.019 | ME49891-01CC |
| 192 | DT343 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 15-oct-16 | 48.031 | 18.850 | ME57251-01CC |
| 193 | DT343 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 15-oct-16 | 48.031 | 19.689 | ME57250-01CC |
| 194 | DT426 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 22-oct-16 | 30.824 | 16.089 | ME58156-01CC |
| 195 | DT344 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 07-dic-16 | 49.588 | 23.038 | ME65011-01CC |
| 196 | DT344 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 07-dic-16 | 49.588 | 23.038 | ME64855-01CC |
| 197 | DT424 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 15-ene-17 | 36.315 | 18.303 | ME70178-01CC |
| 198 | DT347 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 10-feb-17 | 50.578 | 24.720 | ME74714-01CC |
| 199 | DT332 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 22-feb-17 | 47.842 | 22.179 | ME76492-01CC |
| 200 | DT351 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 27-feb-17 | 48.536 | 21.323 | ME77214-01CC |
| 201 | DT346 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 06-mar-17 | 50.927 | 13.788 | ME78288-01CC |
| 202 | DT354 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 10-mar-17 | 43.922 | 6.964 | ME78858-01CC |
| 203 | DT420 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 27-mar-17 | 34.506 | 19.611 | ME81495-01CC |
| 204 | DT426 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 17-abr-17 | 33.906 | 19.171 | ME84083-01CC |
| 205 | DT353 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 04-may-17 | 45.077 | 28.937 | ME86393-01CC |
| 206 | DT353 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 04-may-17 | 45.077 | 28.937 | ME86394-01CC |
| 207 | DT350 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 20-may-17 | 46.344 | 10.322 | ME88562-01CC |
| 208 | DT348 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 22-may-17 | 51.335 | 23.606 | ME88847-01CC |
| 209 | DT367 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 27-may-17 | 43.060 | 19.842 | ME89741-01CC |
| 210 | DT341 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 16-jun-17 | 47.235 | 17.539 | ME92116-01CC |
| 211 | DT341 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 16-jun-17 | 47.235 | 22.537 | ME92115-01CC |
| 212 | DT423 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 25-jun-17 | 39.245 | 14.999 | ME93385-01CC |
| 213 | DT345 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 06-jul-17 | 53.740 | 30.465 | ME94283-01CC |
| 214 | DT345 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 06-jul-17 | 53.740 | 30.465 | ME94284-01CC |
| 215 | DT338 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 19-jul-17 | 46.368 | 27.063 | ME95996-01CC |
| 216 | DT338 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 19-jul-17 | 46.368 | 27.063 | ME96000-01CC |
| 217 | DT361 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 11-ago-17 | 41.245 | 26.804 | ME99006-01CC |
| 218 | DT361 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 11-ago-17 | 41.245 | 26.804 | ME99007-01CC |
| 219 | DT342 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 04-sep-17 | 44.809 | 20.561 | MF02654-01CC |
| 220 | DT342 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 04-sep-17 | 44.809 | 24.757 | MF02655-01CC |
| 221 | DT417 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 07-sep-17 | 35.927 | 20.330 | MF02994-01CC |
| 222 | DT417 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 07-sep-17 | 35.927 | 19.547 | MF02993-01CC |
| 223 | DT367 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 07-sep-17 | 44.094 | 12.514 | MF03212-01CC |
| 224 | DT415 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 16-sep-17 | 37.451 | 22.917 | MF04259-01CC |
| 225 | DT415 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 16-sep-17 | 37.451 | 22.917 | MF04260-01CC |
| 226 | DT368 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 26-oct-17 | 43.426 | 26.402 | MF08771-01CC |
| 227 | DT368 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 26-oct-17 | 43.426 | 20.946 | MF08772-01CC |
| 228 | DT354 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 01-nov-17 | 47.380 | 16.963 | MF09938-01CC |
| 229 | DT351 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 04-nov-17 | 51.839 | 24.626 | MF10228-01CC |
| 230 | DT362 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 05-nov-17 | 51.770 | 15.242 | MF10471-01CC |
| 231 | DT362 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 05-nov-17 | 51.770 | 24.632 | MF10513-01CC |

| | | | | | | |
|-----|-------|----------------------------------|-----------|--------|--------|--------------|
| 232 | DT347 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 12-nov-17 | 54.873 | 26.350 | MF11118-01CC |
| 233 | DT357 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 16-nov-17 | 44.544 | 12.790 | 5CG5355-01F |
| 234 | DT414 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 01-dic-17 | 38.351 | 18.237 | MF13758-01CC |
| 235 | DT335 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 08-dic-17 | 50.714 | 22.468 | MF13852-01CC |
| 236 | DT335 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 08-dic-17 | 50.714 | 22.468 | MF13853-01CC |
| 237 | DT357 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 25-dic-17 | 45.186 | 23.745 | MF16955-01CC |
| 238 | DT422 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 16-feb-18 | 37.508 | 32.166 | MF24028-01CC |
| 239 | DT422 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 16-feb-18 | 37.508 | 19.978 | MF24029-01CC |
| 240 | DT412 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 15-mar-18 | 41.013 | 25.325 | MF27938-01CC |
| 241 | DT412 | 4051.RH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 15-mar-18 | 41.013 | 24.785 | MF27939-01CC |
| 242 | DT358 | 4051.LH.CC.00 CAMBIO MANDO FINAL | 18-mar-18 | 46.505 | 18.398 | MF28392-01CC |

Fuente: Información Software Mantenimiento AMT – Relianz Calenturitas

Figura 31. Gráfico para probabilidad de Weibull para vida de mandos finales 777F. Mayo 2009 – Marzo 2018



Fuente: El autor. Generada con software Minitab.

La figura 31 nos muestra cada punto que es cada una de las fallas del componente en estudio. En el eje Y se muestra el porcentaje de probabilidad de falla para mandos finales. De acuerdo a lo que podemos ver en el gráfico, los mandos finales con 11492 horas tienen el 10% de probabilidad de falla, mientras que los diferenciales con 21896 horas tienen el 90% de probabilidad de falla.

El software estadístico Minitab, que fue utilizado para generar las siguientes gráficas, también nos arroja los siguientes parámetros de la distribución:

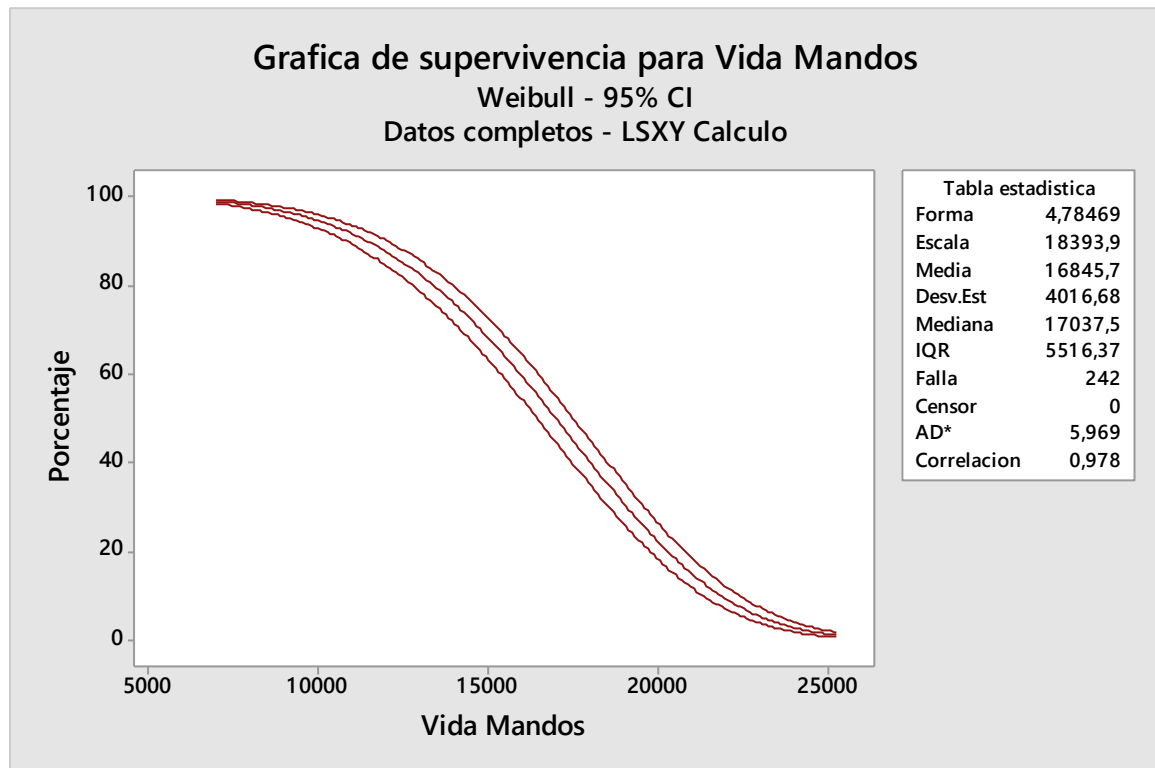
- **Parámetro de Forma (β):** El valor dado para este caso es de 4,78. Este valor nos lleva a que los datos suministrados están en la zona de la curva de la bañera por envejecimiento o desgaste.

- **Parámetro de escala o característica de vida útil (η):** El valor dado para este caso es de 18393 horas. Este valor es de gran importancia debido a que es la vida característica de los mandos finales. Es la vida del componente cuando presenta una probabilidad de fallas del 63,2%.

En este caso el valor de vida característica para mandos finales de 777F se encuentra por encima del pactado en la proyección de cambio de componentes al inicio del contrato. Esto nos corrobora que el contrato no ha generado pérdidas económicas por concepto de cambios de componentes antes de la vida proyectada. Por concepto de ahorro en los costos, se debería actualizar el plan de mantenimiento de cambio de componentes por horas de servicio a la vida característica dada en el presente proyecto. En el momento que se tenga otro contrato de mantenimiento y reparación (MARC), con maquinaria en las mismas condiciones de operación, se debería tomar la vida característica dada para fijar la tarifa por hora de operación. Esto siguiendo un programa de mantenimiento preventivo basado en la condición del componente.

- **Media y Mediana:** Estos valores no son tenidos en cuenta para este análisis.
- **Desviación Estándar y Rango Intercuartil (IQR):** La desviación estándar mide la variabilidad de acuerdo a la media. En estos casos los datos fueron filtrados para evitar los datos dispersos. No serán tomados en cuenta estos parámetros para el estudio.
- **Correlación:** El valor dado para este caso es de 0,978. Se relación de tal forma que al aumentar uno también lo hace el otro. En este caso está correctamente alineado con Weibull, por lo tanto la prueba se cumple

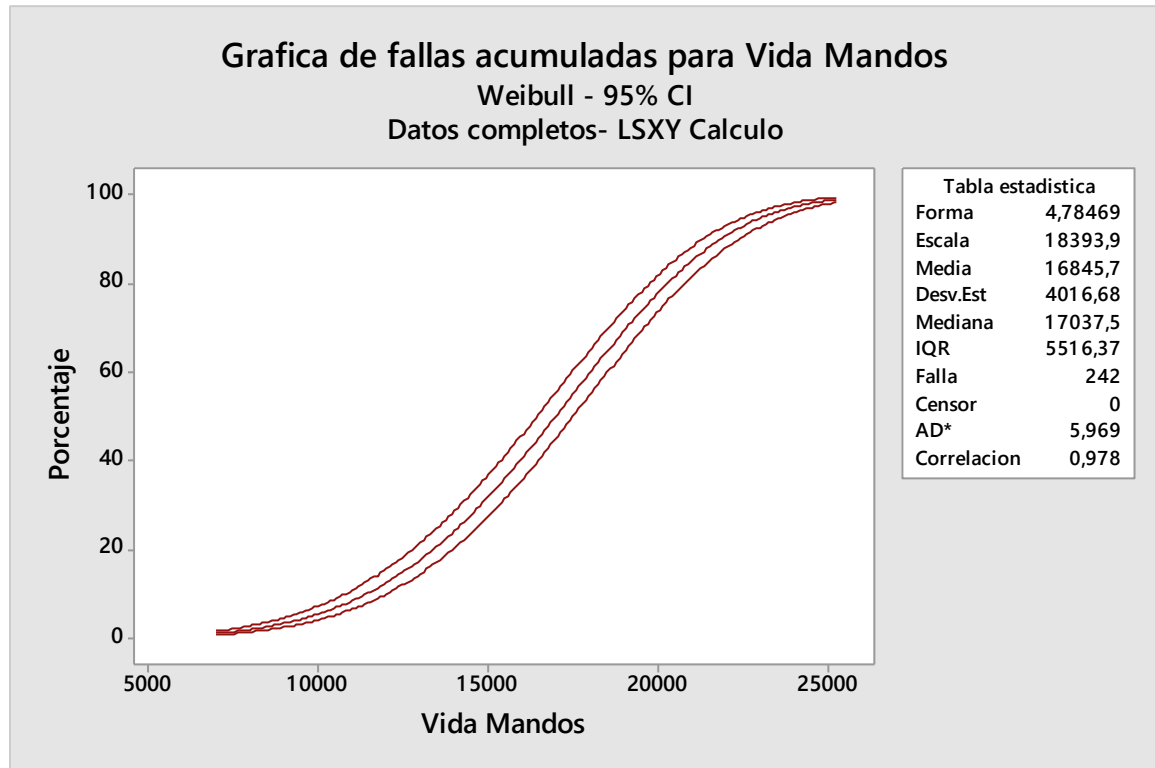
Figura 32. Gráfico de confiabilidad o supervivencia para vida de mandos finales 777F. Mayo 2009 – Marzo 2018.



Fuente: El autor. Generada con software Minitab

En la figura 32 se grafica la probabilidad o supervivencia que tiene un componente en función del tiempo en las horas acumuladas de los mandos finales de la mina calenturitas. De acuerdo a la gráfica los mandos finales con 7994 horas, tienen una confiabilidad del 98,16%. Los mandos finales con 16652 horas, tienen una confiabilidad del 53,72%. Los mandos finales con 18393 horas que sería la vida característica propuesta, tienen una confiabilidad del 34,49%. Los mandos finales con 21462 horas, tienen una confiabilidad del 12,34%.

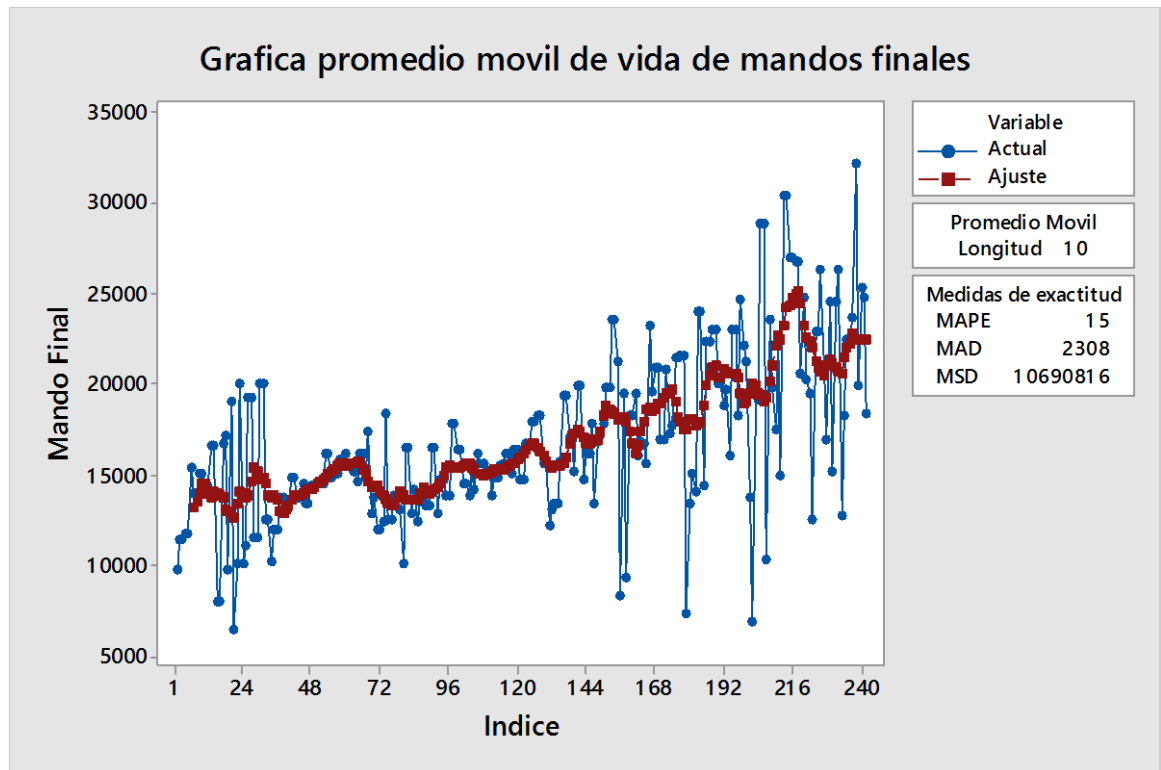
Figura 33. Gráfico de fallas acumuladas para vida de mandos finales 777F. Mayo 2009 – Marzo 2018



Fuente: El autor. Generada con software Minitab.

La figura 33 nos muestra las fallas acumuladas a través del tiempo. Cuando aumentan las horas del componente, hay relación directa con la probabilidad de fallar el componente. Este gráfico nos muestra la fase III de la curva de la bañera, la cual es la fase de envejecimiento, debido a que tenemos un parámetro de forma (β) de 4,78.

Figura 34. Gráfico de promedio móvil de los últimos 10 cambios de mando final 777F. Mayo 2009 – Marzo 2018



Fuente: El autor. Generada con software Minitab

En la figura 34 nos muestra el promedio móvil de los últimos 10 cambios de mandos finales. La figura nos muestra la tendencia en horas con la que se vienen realizando los cambios de mandos finales. En este caso se ve una tendencia en alza de los últimos cambios. El promedio de horas de cambio de mandos finales se ha mantenido por encima de las 15000 horas. El promedio de los últimos 10 cambios de mandos finales en la flota es de 22433 horas, serian 4040 horas por encima de la vida característica.

5.8. RESUMEN ANÁLISIS DE DATOS DE VIDA DE COMPONENTES DE CAMIONES 777F MINA CALENTURITAS.

La siguiente tabla muestra el resumen de datos de estimados de vida de componentes, se encuentra la vida estimada con Weibull, el promedio móvil de los últimos 10 cambios y la vida útil recomendada de acuerdo con el estudio. Esto con el fin de realizar la modificación correspondiente a la planeación del proyecto y futuros contratos.

Tabla 12. Resultados usando Weibull en componentes mayores camión 777F

| Componente | Proyección Actual de Vida Útil | Vida Útil Usando Weibull | Promedio Móvil Últimos 10 Cambios | Proyección de Vida Útil Recomendada |
|-------------|--------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Motor | 15000 | 15788 | 21352 | 16000 |
| Convertidor | 15000 | 17590 | 21329 | 18000 |
| Transmisión | 15000 | 12772 | 14000 | 13000 |
| Diferencial | 15000 | 19675 | 22193 | 20000 |
| Mandos | 15000 | 18393 | 22433 | 18000 |

Fuente: El autor.

5.9. SIMULACIÓN Y COMPARACIÓN

Para realizar la simulación de los cambios de componentes mayores de la flota 777F, a través del estudio por medio de Weibull, se obtuvieron de la base de datos de mantenimiento el horómetro de cada equipo a fecha 01/05/2018, las horas del componente mayor y las horas faltantes para salir de contrato. En base a esta información se realizó la proyección de cambios de componentes al final de contrato con la proyección actual de vida útil y la estimada usando Weibull.

En la siguiente tabla se muestra el resumen de la simulación de la comparación de los cambios de frecuencia de reemplazo de componentes mayores. En las

detalladas posteriormente se encuentra el resumen para cada uno de los equipos de la flota.

Tabla 13. Resultados simulación cambio de frecuencia de reemplazo de componentes mayores 777F.

| Componente | Proyección Actual de Vida Útil | Componentes necesarios a fin de contrato | Vida Útil Usando Weibull | Componentes necesarios a fin de contrato | Balance |
|-------------|--------------------------------|--|--------------------------|--|----------|
| Motor | 15000 | 61 | 15788 | 59 | 2 Menos |
| Convertidor | 15000 | 55 | 17590 | 48 | 7 Menos |
| Transmisión | 15000 | 43 | 12772 | 57 | 14 Mas |
| Diferencial | 15000 | 56 | 19675 | 45 | 11 Menos |
| Mandos | 15000 | 109 | 18393 | 87 | 22 Menos |

Fuente: El autor.

Para el caso de los motores, los resultados del estudio estuvieron 788 horas por encima de la proyección de vida útil actual. De acuerdo a la simulación, se tiene que con proyección actual de vida se deben cambiar 61 motores la final del contrato, pero con la vida útil usando Weibull se deben cambiar 59 motores, esto es un ahorro significativo en los resultados financieros del proyecto. Este proyección de cambio debe ir acompañado de un seguimiento estricto del componentes en tareas de monitoreo de condiciones, para así garantizar la extensión de la vida sin incurrir en fallas súbitas que puedan llevar a altos costos de reparación del componente.

Para el convertidor de torque, los resultados que se obtuvieron fueron de 2590 horas por encima de la proyección de vida útil actual. De acuerdo a la simulación, se tiene que la proyección actual de vida se deben cambiar 55 convertidores al final del contrato, pero con la vida útil usando Weibull se deben cambiar 48 convertidores. De igual manera un ahorro significativo para los resultados financieros del proyecto.

Para las transmisiones, los resultados que se obtuvieron estuvieron 2228 horas por debajo de la proyección de vida útil actual. En este caso las transmisiones del proyecto no han alcanzado la vida útil actual propuesta desde el inicio del contrato. El promedio de las transmisiones antes de filtrar los datos es de 8954 horas, el promedio después de filtrar los datos es de 11707 horas. En cuanto al promedio móvil de los últimos 10 cambios esta en 14000 horas, aún por debajo de las horas propuestas al inicio del contrato. Se decidió realizar la proyección de cambio con las horas promedios después de filtrar los datos, la cual arrojó que se deben cambiar 62 transmisiones al final del contrato, pero con la vida útil usando Weibull se deben cambiar 57 transmisiones. Este componente ha impactado fuerte en los resultados financieros del proyecto, debido a que ha tenido notables fallas debido a problemas con el producto reconocidos por el fabricante. Con respecto a este componente se debe encaminar a un seguimiento estricto por monitoreo de condiciones, el cual pueda garantizar la vida del componente y de esta manera minimizar el impacto en los resultados financieros.

Para el diferencial, los resultados que se obtuvieron fueron de 4675 horas por encima de la proyección de vida útil actual. De acuerdo a la simulación, se tiene que la proyección actual de vida se deben cambiar 56 diferenciales al final del contrato, pero con la vida útil usando Weibull se deben cambiar 45 diferenciales. De igual manera un ahorro significativo para los resultados financieros del proyecto.

Para los mandos finales, los resultados que se obtuvieron fueron de 3393 horas por encima de la proyección de vida útil actual. De acuerdo a la simulación, se tiene que la proyección actual de vida se deben cambiar 109 mandos finales al final del contrato, pero con la vida útil usando Weibull se deben cambiar 87 mandos finales. De igual manera un ahorro significativo para los resultados financieros del proyecto.

Tabla 14. Simulación y comparación de cambios de motor futuros hasta el fin del contrato.

| Cantidad | Equipo | Horómetro Actual | Horómetro Actual Componente | Vida Actual | Vida Recomendada | Horas para salida de contrato | Componentes para salida de contrato actual | Horómetro Componente Salida de Contrato | Componentes para salida de contrato recomendado | Horómetro componente de salida de contrato |
|----------|--------|------------------|-----------------------------|-------------|------------------|-------------------------------|--|---|---|--|
| 1 | DT329 | 55196 | 14728 | 15000 | 15788 | 4804 | 1 | 4532 | 1 | 6032 |
| 2 | DT330 | 55404 | 14501 | 15000 | 15788 | 4596 | 1 | 4097 | 1 | 5597 |
| 3 | DT331 | 48347 | 15828 | 15000 | 15788 | 11653 | 1 | 12480 | 1 | 13980 |
| 4 | DT332 | 54035 | 10710 | 15000 | 15788 | 5965 | 1 | 1675 | 1 | 3175 |
| 5 | DT333 | 51971 | 20964 | 15000 | 15788 | 8029 | 1 | 13993 | 1 | 15493 |
| 6 | DT334 | 49981 | 21335 | 15000 | 15788 | 10019 | 2 | 1354 | 1 | 17854 |
| 7 | DT335 | 52768 | 2054 | 15000 | 15788 | 7232 | 0 | 9286 | 0 | 9286 |
| 8 | DT336 | 50447 | 8348 | 15000 | 15788 | 9553 | 1 | 2901 | 1 | 4401 |
| 9 | DT338 | 50614 | 4047 | 15000 | 15788 | 9386 | 0 | 13433 | 0 | 13433 |
| 10 | DT339 | 50691 | 18192 | 15000 | 15788 | 9309 | 1 | 12501 | 1 | 14001 |
| 11 | DT340 | 50606 | 15775 | 15000 | 15788 | 9394 | 1 | 10169 | 1 | 11669 |
| 12 | DT341 | 52245 | 8893 | 15000 | 15788 | 7755 | 1 | 1648 | 1 | 3148 |
| 13 | DT342 | 48442 | 16514 | 15000 | 15788 | 11558 | 1 | 13072 | 1 | 14572 |
| 14 | DT343 | 56769 | 20922 | 15000 | 15788 | 3231 | 1 | 9153 | 1 | 10653 |
| 15 | DT344 | 57768 | 4897 | 15000 | 15788 | 2232 | 0 | 7129 | 0 | 7129 |
| 16 | DT345 | 58066 | 14607 | 15000 | 15788 | 1934 | 1 | 1541 | 1 | 3041 |
| 17 | DT346 | 56901 | 13963 | 15000 | 15788 | 3099 | 1 | 2062 | 1 | 3562 |
| 18 | DT347 | 57282 | 20266 | 15000 | 15788 | 2718 | 1 | 7984 | 1 | 9484 |
| 19 | DT348 | 56495 | 10 | 15000 | 15788 | 3505 | 0 | 3515 | 0 | 3515 |
| 20 | DT350 | 51500 | 3164 | 15000 | 15788 | 8500 | 0 | 11664 | 0 | 11664 |
| 21 | DT351 | 54332 | 15843 | 15000 | 15788 | 5668 | 1 | 6511 | 1 | 8011 |

| | | | | | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|-------|---|-------|
| 22 | DT352 | 44538 | 12798 | 15000 | 15788 | 15462 | 1 | 13260 | 1 | 14760 |
| 23 | DT353 | 50541 | 16309 | 15000 | 15788 | 9459 | 1 | 10768 | 1 | 12268 |
| 24 | DT354 | 50247 | 14479 | 15000 | 15788 | 9753 | 1 | 9232 | 1 | 10732 |
| 25 | DT355 | 44343 | 4478 | 15000 | 15788 | 15657 | 1 | 5135 | 1 | 6635 |
| 26 | DT356 | 49605 | 19841 | 15000 | 15788 | 10395 | 2 | 236 | 1 | 16736 |
| 27 | DT357 | 47200 | 7895 | 15000 | 15788 | 12800 | 1 | 5695 | 1 | 7195 |
| 28 | DT358 | 47196 | 13066 | 15000 | 15788 | 12804 | 1 | 10870 | 1 | 12370 |
| 29 | DT359 | 47153 | 19656 | 15000 | 15788 | 12847 | 2 | 2502 | 2 | 926 |
| 30 | DT360 | 44314 | 22545 | 15000 | 15788 | 15686 | 2 | 8231 | 2 | 6655 |
| 31 | DT361 | 45250 | 6820 | 15000 | 15788 | 14750 | 1 | 6570 | 1 | 8070 |
| 32 | DT362 | 54315 | 3912 | 15000 | 15788 | 5685 | 0 | 9597 | 0 | 9597 |
| 33 | DT363 | 48734 | 7178 | 15000 | 15788 | 11266 | 1 | 3444 | 1 | 4944 |
| 34 | DT364 | 45955 | 5911 | 15000 | 15788 | 14045 | 1 | 4956 | 1 | 6456 |
| 35 | DT365 | 48423 | 12704 | 15000 | 15788 | 11577 | 1 | 9281 | 1 | 10781 |
| 36 | DT366 | 47034 | 6922 | 15000 | 15788 | 12966 | 1 | 4888 | 1 | 6388 |
| 37 | DT367 | 46730 | 3308 | 15000 | 15788 | 13270 | 1 | 1578 | 1 | 3078 |
| 38 | DT368 | 46451 | 23971 | 15000 | 15788 | 13549 | 2 | 7520 | 2 | 5944 |
| 39 | DT370 | 49337 | 17770 | 15000 | 15788 | 10663 | 1 | 13433 | 1 | 14933 |
| 40 | DT379 | 50781 | 1129 | 15000 | 15788 | 9219 | 0 | 10348 | 0 | 10348 |
| 41 | DT380 | 50500 | 8069 | 15000 | 15788 | 9500 | 1 | 2569 | 1 | 4069 |
| 42 | DT381 | 47377 | 5578 | 15000 | 15788 | 12623 | 1 | 3201 | 1 | 4701 |
| 43 | DT384 | 48367 | 10618 | 15000 | 15788 | 11633 | 1 | 7251 | 1 | 8751 |
| 44 | DT412 | 41653 | 21844 | 15000 | 15788 | 18347 | 2 | 10191 | 2 | 8615 |
| 45 | DT413 | 36383 | 11296 | 15000 | 15788 | 23617 | 2 | 4913 | 2 | 3337 |
| 46 | DT414 | 40682 | 1545 | 15000 | 15788 | 19318 | 1 | 5863 | 1 | 7363 |
| 47 | DT415 | 41010 | 4990 | 15000 | 15788 | 18990 | 1 | 8980 | 1 | 10480 |
| 48 | DT416 | 39616 | 1976 | 15000 | 15788 | 20384 | 1 | 7360 | 1 | 8860 |
| 49 | DT417 | 39736 | 16 | 15000 | 15788 | 20264 | 1 | 5280 | 1 | 6780 |

| | | | | | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|-------|--------------|-------|
| 50 | DT418 | 41927 | 16165 | 15000 | 15788 | 18073 | 2 | 4238 | 2 | 2662 |
| 51 | DT419 | 39047 | 23376 | 15000 | 15788 | 20953 | 2 | 14329 | 2 | 12753 |
| 52 | DT420 | 40547 | 17227 | 15000 | 15788 | 19453 | 2 | 6680 | 2 | 5104 |
| 53 | DT421 | 41521 | 6718 | 15000 | 15788 | 18479 | 1 | 10197 | 1 | 11697 |
| 54 | DT422 | 38570 | 2185 | 15000 | 15788 | 21430 | 1 | 8615 | 1 | 10115 |
| 55 | DT423 | 43902 | 12554 | 15000 | 15788 | 16098 | 1 | 13652 | 1 | 15152 |
| 56 | DT424 | 43340 | 7025 | 15000 | 15788 | 16660 | 1 | 8685 | 1 | 10185 |
| 57 | DT425 | 43555 | 5704 | 15000 | 15788 | 16445 | 1 | 7149 | 1 | 8649 |
| 58 | DT426 | 39592 | 581 | 15000 | 15788 | 20408 | 1 | 5989 | 1 | 7489 |
| | | | | | | | TOTAL | 61 | TOTAL | 59 |

Fuente: El autor

Tabla 15. Simulación y comparación de cambios de convertidor futuros hasta el fin del contrato.

| Cantidad | Equipo | Horómetro Actual | Horómetro Actual Componente | Vida Actual | Vida Recomendada | Horas para salida de contrato | Componentes para salida de contrato actual | Horómetro Componente Salida de Contrato | Componentes para salida de contrato recomendado | Horómetro componente de salida de contrato |
|----------|--------|------------------|-----------------------------|-------------|------------------|-------------------------------|--|---|---|--|
| 1 | DT329 | 55197 | 16350 | 15000 | 17590 | 4803 | 1 | 6153 | 1 | 3563 |
| 2 | DT330 | 55404 | 20627 | 15000 | 17590 | 4596 | 1 | 10223 | 1 | 7633 |
| 3 | DT331 | 48347 | 12721 | 15000 | 17590 | 11653 | 1 | 9374 | 1 | 6784 |
| 4 | DT332 | 54035 | 10710 | 15000 | 17590 | 5965 | 1 | 1675 | 0 | 16675 |
| 5 | DT333 | 51971 | 20964 | 15000 | 17590 | 8029 | 1 | 13993 | 1 | 11403 |
| 6 | DT334 | 49981 | 21335 | 15000 | 17590 | 10019 | 2 | 1354 | 1 | 13764 |
| 7 | DT335 | 52768 | 2054 | 15000 | 17590 | 7232 | 0 | 9286 | 0 | 9286 |
| 8 | DT336 | 50447 | 14118 | 15000 | 17590 | 9553 | 1 | 8671 | 1 | 6081 |
| 9 | DT338 | 50614 | 4047 | 15000 | 17590 | 9386 | 0 | 13433 | 0 | 13433 |
| 10 | DT339 | 50691 | 18192 | 15000 | 17590 | 9309 | 1 | 12501 | 1 | 9911 |
| 11 | DT340 | 50606 | 1458 | 15000 | 17590 | 9394 | 0 | 10852 | 0 | 10852 |
| 12 | DT341 | 52245 | 10835 | 15000 | 17590 | 7755 | 1 | 3590 | 1 | 1000 |
| 13 | DT342 | 48442 | 16514 | 15000 | 17590 | 11558 | 1 | 13072 | 1 | 10482 |
| 14 | DT343 | 56769 | 21520 | 15000 | 17590 | 3231 | 1 | 9751 | 1 | 7161 |
| 15 | DT344 | 57768 | 8449 | 15000 | 17590 | 2232 | 0 | 10681 | 0 | 10681 |
| 16 | DT345 | 58066 | 11057 | 15000 | 17590 | 1934 | 0 | 12991 | 0 | 12991 |
| 17 | DT346 | 56901 | 15695 | 15000 | 17590 | 3099 | 1 | 3794 | 1 | 1204 |
| 18 | DT347 | 57282 | 9810 | 15000 | 17590 | 2718 | 0 | 12528 | 0 | 12528 |
| 19 | DT348 | 56495 | 2584 | 15000 | 17590 | 3505 | 0 | 6089 | 0 | 6089 |
| 20 | DT350 | 51500 | 3164 | 15000 | 17590 | 8500 | 0 | 11664 | 0 | 11664 |
| 21 | DT351 | 54332 | 730 | 15000 | 17590 | 5668 | 0 | 6398 | 0 | 6398 |
| 22 | DT352 | 44538 | 12798 | 15000 | 17590 | 15462 | 1 | 13260 | 1 | 10670 |

| | | | | | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|-------|---|-------|
| 23 | DT353 | 50541 | 8740 | 15000 | 17590 | 9459 | 1 | 3198 | 1 | 608 |
| 24 | DT354 | 50247 | 21143 | 15000 | 17590 | 9753 | 2 | 896 | 1 | 13306 |
| 25 | DT355 | 44343 | 3817 | 15000 | 17590 | 15657 | 1 | 4474 | 1 | 1884 |
| 26 | DT356 | 49605 | 19841 | 15000 | 17590 | 10395 | 2 | 236 | 1 | 12646 |
| 27 | DT357 | 47200 | 15285 | 15000 | 17590 | 12800 | 1 | 13085 | 1 | 10495 |
| 28 | DT358 | 47196 | 15542 | 15000 | 17590 | 12804 | 1 | 13346 | 1 | 10756 |
| 29 | DT359 | 47153 | 19662 | 15000 | 17590 | 12847 | 2 | 2509 | 1 | 14919 |
| 30 | DT360 | 44314 | 14136 | 15000 | 17590 | 15686 | 1 | 14822 | 1 | 12232 |
| 31 | DT361 | 45250 | 13304 | 15000 | 17590 | 14750 | 1 | 13054 | 1 | 10464 |
| 32 | DT362 | 54315 | 15949 | 15000 | 17590 | 5685 | 1 | 6634 | 1 | 4044 |
| 33 | DT363 | 48734 | 16057 | 15000 | 17590 | 11266 | 1 | 12323 | 1 | 9733 |
| 34 | DT364 | 45955 | 5494 | 15000 | 17590 | 14045 | 1 | 4538 | 1 | 1948 |
| 35 | DT365 | 48423 | 10057 | 15000 | 17590 | 11577 | 1 | 6634 | 1 | 4044 |
| 36 | DT366 | 47034 | 6922 | 15000 | 17590 | 12966 | 1 | 4888 | 1 | 2298 |
| 37 | DT367 | 46730 | 3308 | 15000 | 17590 | 13270 | 1 | 1578 | 0 | 16578 |
| 38 | DT368 | 46451 | 11899 | 15000 | 17590 | 13549 | 1 | 10448 | 1 | 7858 |
| 39 | DT370 | 49337 | 17770 | 15000 | 17590 | 10663 | 1 | 13433 | 1 | 10843 |
| 40 | DT379 | 50781 | 1129 | 15000 | 17590 | 9219 | 0 | 10348 | 0 | 10348 |
| 41 | DT380 | 50500 | 17673 | 15000 | 17590 | 9500 | 1 | 12173 | 1 | 9583 |
| 42 | DT381 | 47377 | 17933 | 15000 | 17590 | 12623 | 2 | 556 | 1 | 12966 |
| 43 | DT384 | 48367 | 10618 | 15000 | 17590 | 11633 | 1 | 7251 | 1 | 4661 |
| 44 | DT412 | 41653 | 6888 | 15000 | 17590 | 18347 | 1 | 10235 | 1 | 7645 |
| 45 | DT413 | 36383 | 2986 | 15000 | 17590 | 23617 | 1 | 11603 | 1 | 9013 |
| 46 | DT414 | 40682 | 1545 | 15000 | 17590 | 19318 | 1 | 5863 | 1 | 3273 |
| 47 | DT415 | 41010 | 4990 | 15000 | 17590 | 18990 | 1 | 8980 | 1 | 6390 |
| 48 | DT416 | 39616 | 1976 | 15000 | 17590 | 20384 | 1 | 7360 | 1 | 4770 |
| 49 | DT417 | 39736 | 16 | 15000 | 17590 | 20264 | 1 | 5280 | 1 | 2690 |
| 50 | DT418 | 41927 | 3387 | 15000 | 17590 | 18073 | 1 | 6460 | 1 | 3870 |

| | | | | | | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|-------|--------------|------|--|
| 51 | DT419 | 39047 | 23376 | 15000 | 17590 | 20953 | 2 | 14329 | 2 | 9149 | |
| 52 | DT420 | 40547 | 17227 | 15000 | 17590 | 19453 | 2 | 6680 | 2 | 1500 | |
| 53 | DT421 | 41521 | 6718 | 15000 | 17590 | 18479 | 1 | 10197 | 1 | 7607 | |
| 54 | DT422 | 38570 | 2185 | 15000 | 17590 | 21430 | 1 | 8615 | 1 | 6025 | |
| 55 | DT423 | 43902 | 11463 | 15000 | 17590 | 16098 | 1 | 12561 | 1 | 9971 | |
| 56 | DT424 | 43340 | 7025 | 15000 | 17590 | 16660 | 1 | 8685 | 1 | 6095 | |
| 57 | DT425 | 43555 | 5704 | 15000 | 17590 | 16445 | 1 | 7149 | 1 | 4559 | |
| 58 | DT426 | 39592 | 581 | 15000 | 17590 | 20408 | 1 | 5989 | 1 | 3399 | |
| | | | | | | | TOTAL | 55 | TOTAL | 48 | |

Fuente: El autor

Tabla 16. Simulación y comparación de cambios de transmisión futuros hasta el fin del contrato.

| Cantidad | Equipo | Horómetro Actual | Horómetro Actual Componente | Vida Actual | Vida Recomendada | Horas para salida de contrato | Componentes para salida de contrato actual | Horómetro Componente Salida de Contrato | Componentes para salida de contrato recomendado | Horómetro componente de salida de contrato |
|----------|--------|------------------|-----------------------------|-------------|------------------|-------------------------------|--|---|---|--|
| 1 | DT329 | 55197 | 9359 | 15000 | 12772 | 4803 | 0 | 14162 | 1 | 1390 |
| 2 | DT330 | 55404 | 8775 | 15000 | 12772 | 4596 | 0 | 13371 | 1 | 599 |
| 3 | DT331 | 48347 | 11860 | 15000 | 12772 | 11653 | 1 | 8513 | 1 | 10741 |
| 4 | DT332 | 54035 | 2490 | 15000 | 12772 | 5965 | 0 | 8455 | 0 | 8455 |
| 5 | DT333 | 51971 | 6983 | 15000 | 12772 | 8029 | 1 | 12 | 1 | 2240 |
| 6 | DT334 | 49981 | 12061 | 15000 | 12772 | 10019 | 1 | 7080 | 1 | 9308 |
| 7 | DT335 | 52768 | 4166 | 15000 | 12772 | 7232 | 0 | 11398 | 0 | 11398 |
| 8 | DT336 | 50447 | 962 | 15000 | 12772 | 9553 | 0 | 10515 | 0 | 10515 |
| 9 | DT338 | 50614 | 2154 | 15000 | 12772 | 9386 | 0 | 11540 | 0 | 11540 |
| 10 | DT339 | 50691 | 3435 | 15000 | 12772 | 9309 | 0 | 12744 | 0 | 12744 |
| 11 | DT340 | 50606 | 1458 | 15000 | 12772 | 9394 | 0 | 10852 | 0 | 10852 |
| 12 | DT341 | 52245 | 9281 | 15000 | 12772 | 7755 | 1 | 2036 | 1 | 4264 |
| 13 | DT342 | 48442 | 10373 | 15000 | 12772 | 11558 | 1 | 6931 | 1 | 9159 |
| 14 | DT343 | 56769 | 1389 | 15000 | 12772 | 3231 | 0 | 4620 | 0 | 4620 |
| 15 | DT344 | 57768 | 10293 | 15000 | 12772 | 2232 | 0 | 12525 | 0 | 12525 |
| 16 | DT345 | 58066 | 11057 | 15000 | 12772 | 1934 | 0 | 12991 | 1 | 219 |
| 17 | DT346 | 56901 | 4124 | 15000 | 12772 | 3099 | 0 | 7223 | 0 | 7223 |
| 18 | DT347 | 57282 | 2622 | 15000 | 12772 | 2718 | 0 | 5340 | 0 | 5340 |
| 19 | DT348 | 56495 | 2584 | 15000 | 12772 | 3505 | 0 | 6089 | 0 | 6089 |
| 20 | DT350 | 51500 | 11312 | 15000 | 12772 | 8500 | 1 | 4812 | 1 | 7040 |
| 21 | DT351 | 54332 | 15843 | 15000 | 12772 | 5668 | 1 | 6511 | 1 | 8739 |
| 22 | DT352 | 44538 | 1741 | 15000 | 12772 | 15462 | 1 | 2203 | 1 | 4431 |

| | | | | | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|-------|---|-------|
| 23 | DT353 | 50541 | 2017 | 15000 | 12772 | 9459 | 0 | 11476 | 0 | 11476 |
| 24 | DT354 | 50247 | 13289 | 15000 | 12772 | 9753 | 1 | 8042 | 1 | 10270 |
| 25 | DT355 | 44343 | 11503 | 15000 | 12772 | 15657 | 1 | 12159 | 2 | 1615 |
| 26 | DT356 | 49605 | 2863 | 15000 | 12772 | 10395 | 0 | 13258 | 1 | 486 |
| 27 | DT357 | 47200 | 584 | 15000 | 12772 | 12800 | 0 | 13384 | 1 | 612 |
| 28 | DT358 | 47196 | 12930 | 15000 | 12772 | 12804 | 1 | 10734 | 2 | 190 |
| 29 | DT359 | 47153 | 6263 | 15000 | 12772 | 12847 | 1 | 4110 | 1 | 6338 |
| 30 | DT360 | 44314 | 10664 | 15000 | 12772 | 15686 | 1 | 11350 | 2 | 806 |
| 31 | DT361 | 45250 | 962 | 15000 | 12772 | 14750 | 1 | 712 | 1 | 2940 |
| 32 | DT362 | 54315 | 842 | 15000 | 12772 | 5685 | 0 | 6527 | 0 | 6527 |
| 33 | DT363 | 48734 | 8551 | 15000 | 12772 | 11266 | 1 | 4817 | 1 | 7045 |
| 34 | DT364 | 45955 | 7057 | 15000 | 12772 | 14045 | 1 | 6102 | 1 | 8330 |
| 35 | DT365 | 48423 | 2626 | 15000 | 12772 | 11577 | 0 | 14203 | 1 | 1431 |
| 36 | DT366 | 47034 | 12019 | 15000 | 12772 | 12966 | 1 | 9985 | 1 | 12213 |
| 37 | DT367 | 46730 | 14814 | 15000 | 12772 | 13270 | 1 | 13084 | 2 | 2540 |
| 38 | DT368 | 46451 | 4948 | 15000 | 12772 | 13549 | 1 | 3497 | 1 | 5725 |
| 39 | DT370 | 49337 | 6694 | 15000 | 12772 | 10663 | 1 | 2357 | 1 | 4585 |
| 40 | DT379 | 50781 | 4459 | 15000 | 12772 | 9219 | 0 | 13678 | 1 | 906 |
| 41 | DT380 | 50500 | 13232 | 15000 | 12772 | 9500 | 1 | 7732 | 1 | 9960 |
| 42 | DT381 | 47377 | 6643 | 15000 | 12772 | 12623 | 1 | 4266 | 1 | 6494 |
| 43 | DT384 | 48367 | 10618 | 15000 | 12772 | 11633 | 1 | 7251 | 1 | 9479 |
| 44 | DT412 | 41653 | 11666 | 15000 | 12772 | 18347 | 2 | 13 | 2 | 4469 |
| 45 | DT413 | 36383 | 922 | 15000 | 12772 | 23617 | 1 | 9539 | 1 | 11767 |
| 46 | DT414 | 40682 | 8057 | 15000 | 12772 | 19318 | 1 | 12375 | 2 | 1831 |
| 47 | DT415 | 41010 | 14161 | 15000 | 12772 | 18990 | 2 | 3151 | 2 | 7607 |
| 48 | DT416 | 39616 | 12837 | 15000 | 12772 | 20384 | 2 | 3221 | 2 | 7677 |
| 49 | DT417 | 39736 | 16 | 15000 | 12772 | 20264 | 1 | 5280 | 1 | 7508 |
| 50 | DT418 | 41927 | 2849 | 15000 | 12772 | 18073 | 1 | 5922 | 1 | 8150 |

| | | | | | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|-------|--------------|-------|
| 51 | DT419 | 39047 | 9801 | 15000 | 12772 | 20953 | 2 | 754 | 2 | 5210 |
| 52 | DT420 | 40547 | 8085 | 15000 | 12772 | 19453 | 1 | 12538 | 2 | 1994 |
| 53 | DT421 | 41521 | 18443 | 15000 | 12772 | 18479 | 2 | 6922 | 2 | 11378 |
| 54 | DT422 | 38570 | 266 | 15000 | 12772 | 21430 | 1 | 6696 | 1 | 8924 |
| 55 | DT423 | 43902 | 1013 | 15000 | 12772 | 16098 | 1 | 2111 | 1 | 4339 |
| 56 | DT424 | 43340 | 3983 | 15000 | 12772 | 16660 | 1 | 5643 | 1 | 7871 |
| 57 | DT425 | 43555 | 10762 | 15000 | 12772 | 16445 | 1 | 12207 | 2 | 1663 |
| 58 | DT426 | 39592 | 581 | 15000 | 12772 | 20408 | 1 | 5989 | 1 | 8217 |
| | | | | | | | TOTAL | 43 | TOTAL | 57 |

Fuente: El autor

Tabla 17. Simulación y comparación de cambios de diferencial futuros hasta el fin del contrato.

| Cantidad | Equipo | Horómetro Actual | Horómetro Actual Componente | Vida Actual | Vida Recomendada | Horas para salida de contrato | Componentes para salida de contrato actual | Horómetro Componente Salida de Contrato | Componentes para salida de contrato recomendado | Horómetro componente de salida de contrato |
|----------|--------|------------------|-----------------------------|-------------|------------------|-------------------------------|--|---|---|--|
| 1 | DT329 | 55197 | 16350 | 15000 | 19675 | 4803 | 1 | 6153 | 1 | 1478 |
| 2 | DT330 | 55404 | 18175 | 15000 | 19675 | 4596 | 1 | 7770 | 1 | 3095 |
| 3 | DT331 | 48347 | 757 | 15000 | 19675 | 11653 | 0 | 12409 | 0 | 12409 |
| 4 | DT332 | 54035 | 6193 | 15000 | 19675 | 5965 | 0 | 12158 | 0 | 12158 |
| 5 | DT333 | 51971 | 19033 | 15000 | 19675 | 8029 | 1 | 12062 | 1 | 7387 |
| 6 | DT334 | 49981 | 19780 | 15000 | 19675 | 10019 | 1 | 14799 | 1 | 10124 |
| 7 | DT335 | 52768 | 2054 | 15000 | 19675 | 7232 | 0 | 9286 | 0 | 9286 |
| 8 | DT336 | 50447 | 5413 | 15000 | 19675 | 9553 | 0 | 14966 | 0 | 14966 |
| 9 | DT338 | 50614 | 8419 | 15000 | 19675 | 9386 | 1 | 2805 | 0 | 17805 |
| 10 | DT339 | 50691 | 8454 | 15000 | 19675 | 9309 | 1 | 2763 | 0 | 17763 |
| 11 | DT340 | 50606 | 1458 | 15000 | 19675 | 9394 | 0 | 10852 | 0 | 10852 |
| 12 | DT341 | 52245 | 5010 | 15000 | 19675 | 7755 | 0 | 12765 | 0 | 12765 |
| 13 | DT342 | 48442 | 24194 | 15000 | 19675 | 11558 | 2 | 5752 | 1 | 16077 |
| 14 | DT343 | 56769 | 11743 | 15000 | 19675 | 3231 | 0 | 14973 | 0 | 14973 |
| 15 | DT344 | 57768 | 18014 | 15000 | 19675 | 2232 | 1 | 5246 | 1 | 571 |
| 16 | DT345 | 58066 | 21898 | 15000 | 19675 | 1934 | 1 | 8832 | 1 | 4157 |
| 17 | DT346 | 56901 | 989 | 15000 | 19675 | 3099 | 0 | 4088 | 0 | 4088 |
| 18 | DT347 | 57282 | 2409 | 15000 | 19675 | 2718 | 0 | 5127 | 0 | 5127 |
| 19 | DT348 | 56495 | 17016 | 15000 | 19675 | 3505 | 1 | 5521 | 1 | 846 |
| 20 | DT350 | 51500 | 3164 | 15000 | 19675 | 8500 | 0 | 11664 | 0 | 11664 |
| 21 | DT351 | 54332 | 15843 | 15000 | 19675 | 5668 | 1 | 6511 | 1 | 1836 |

| | | | | | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|-------|---|-------|
| 22 | DT352 | 44538 | 14532 | 15000 | 19675 | 15462 | 1 | 14994 | 1 | 10319 |
| 23 | DT353 | 50541 | 5464 | 15000 | 19675 | 9459 | 0 | 14923 | 0 | 14923 |
| 24 | DT354 | 50247 | 3491 | 15000 | 19675 | 9753 | 0 | 13244 | 0 | 13244 |
| 25 | DT355 | 44343 | 14408 | 15000 | 19675 | 15657 | 2 | 65 | 1 | 10390 |
| 26 | DT356 | 49605 | 14429 | 15000 | 19675 | 10395 | 1 | 9824 | 1 | 5149 |
| 27 | DT357 | 47200 | 2014 | 15000 | 19675 | 12800 | 0 | 14814 | 0 | 14814 |
| 28 | DT358 | 47196 | 11696 | 15000 | 19675 | 12804 | 1 | 9500 | 1 | 4825 |
| 29 | DT359 | 47153 | 15759 | 15000 | 19675 | 12847 | 1 | 13606 | 1 | 8931 |
| 30 | DT360 | 44314 | 9898 | 15000 | 19675 | 15686 | 1 | 10584 | 1 | 5909 |
| 31 | DT361 | 45250 | 4005 | 15000 | 19675 | 14750 | 1 | 3755 | 0 | 18755 |
| 32 | DT362 | 54315 | 3912 | 15000 | 19675 | 5685 | 0 | 9597 | 0 | 9597 |
| 33 | DT363 | 48734 | 8551 | 15000 | 19675 | 11266 | 1 | 4817 | 1 | 142 |
| 34 | DT364 | 45955 | 9780 | 15000 | 19675 | 14045 | 1 | 8825 | 1 | 4150 |
| 35 | DT365 | 48423 | 12704 | 15000 | 19675 | 11577 | 1 | 9281 | 1 | 4606 |
| 36 | DT366 | 47034 | 26791 | 15000 | 19675 | 12966 | 2 | 9757 | 2 | 407 |
| 37 | DT367 | 46730 | 3308 | 15000 | 19675 | 13270 | 1 | 1578 | 0 | 16578 |
| 38 | DT368 | 46451 | 23971 | 15000 | 19675 | 13549 | 2 | 7520 | 1 | 17845 |
| 39 | DT370 | 49337 | 6694 | 15000 | 19675 | 10663 | 1 | 2357 | 0 | 17357 |
| 40 | DT379 | 50781 | 15243 | 15000 | 19675 | 9219 | 1 | 9462 | 1 | 4787 |
| 41 | DT380 | 50500 | 16933 | 15000 | 19675 | 9500 | 1 | 11433 | 1 | 6758 |
| 42 | DT381 | 47377 | 12142 | 15000 | 19675 | 12623 | 1 | 9765 | 1 | 5090 |
| 43 | DT384 | 48367 | 10618 | 15000 | 19675 | 11633 | 1 | 7251 | 1 | 2576 |
| 44 | DT412 | 41653 | 640 | 15000 | 19675 | 18347 | 1 | 3987 | 0 | 18987 |
| 45 | DT413 | 36383 | 20970 | 15000 | 19675 | 23617 | 2 | 14587 | 2 | 5237 |
| 46 | DT414 | 40682 | 24875 | 15000 | 19675 | 19318 | 2 | 14193 | 2 | 4843 |
| 47 | DT415 | 41010 | 1673 | 15000 | 19675 | 18990 | 1 | 5662 | 1 | 987 |
| 48 | DT416 | 39616 | 10597 | 15000 | 19675 | 20384 | 2 | 981 | 1 | 11306 |
| 49 | DT417 | 39736 | 7764 | 15000 | 19675 | 20264 | 1 | 13027 | 1 | 8352 |

| | | | | | | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|-------|--------------|-------|--|
| 50 | DT418 | 41927 | 25139 | 15000 | 19675 | 18073 | 2 | 13212 | 2 | 3862 | |
| 51 | DT419 | 39047 | 12516 | 15000 | 19675 | 20953 | 2 | 3468 | 1 | 13793 | |
| 52 | DT420 | 40547 | 6041 | 15000 | 19675 | 19453 | 1 | 10494 | 1 | 5819 | |
| 53 | DT421 | 41521 | 24816 | 15000 | 19675 | 18479 | 2 | 13295 | 2 | 3945 | |
| 54 | DT422 | 38570 | 6264 | 15000 | 19675 | 21430 | 1 | 12694 | 1 | 8019 | |
| 55 | DT423 | 43902 | 7987 | 15000 | 19675 | 16098 | 1 | 9085 | 1 | 4410 | |
| 56 | DT424 | 43340 | 22763 | 15000 | 19675 | 16660 | 2 | 9423 | 2 | 73 | |
| 57 | DT425 | 43555 | 24162 | 15000 | 19675 | 16445 | 2 | 10607 | 2 | 1257 | |
| 58 | DT426 | 39592 | 7218 | 15000 | 19675 | 20408 | 1 | 12626 | 1 | 7951 | |
| | | | | | | | TOTAL | 56 | TOTAL | 45 | |

Fuente: El autor

Tabla 18. Simulación y comparación de cambios de mando final izquierdo futuros hasta el fin del contrato.

| Cantidad | Equipo | Horómetro Actual | Horómetro Actual Componente | Vida Actual | Vida Recomendada | Horas para salida de contrato | Componentes para salida de contrato actual | Horómetro Componente Salida de Contrato | Componentes para salida de contrato recomendado | Horómetro componente de salida de contrato |
|----------|--------|------------------|-----------------------------|-------------|------------------|-------------------------------|--|---|---|--|
| 1 | DT329 | 55197 | 17335 | 15000 | 18393 | 4803 | 1 | 7139 | 1 | 3746 |
| 2 | DT330 | 55404 | 18769 | 15000 | 18393 | 4596 | 1 | 8365 | 1 | 4972 |
| 3 | DT331 | 48347 | 23375 | 15000 | 18393 | 11653 | 2 | 5028 | 1 | 16635 |
| 4 | DT332 | 54035 | 22049 | 15000 | 18393 | 5965 | 1 | 13014 | 1 | 9621 |
| 5 | DT333 | 51971 | 16312 | 15000 | 18393 | 8029 | 1 | 9341 | 1 | 5948 |
| 6 | DT334 | 49981 | 22349 | 15000 | 18393 | 10019 | 2 | 2367 | 1 | 13974 |
| 7 | DT335 | 52768 | 2054 | 15000 | 18393 | 7232 | 0 | 9286 | 0 | 9286 |
| 8 | DT336 | 50447 | 16935 | 15000 | 18393 | 9553 | 1 | 11488 | 1 | 8095 |
| 9 | DT338 | 50614 | 4247 | 15000 | 18393 | 9386 | 0 | 13632 | 0 | 13632 |
| 10 | DT339 | 50691 | 22024 | 15000 | 18393 | 9309 | 2 | 1333 | 1 | 12940 |
| 11 | DT340 | 50606 | 8285 | 15000 | 18393 | 9394 | 1 | 2679 | 0 | 17679 |
| 12 | DT341 | 52245 | 5010 | 15000 | 18393 | 7755 | 0 | 12765 | 0 | 12765 |
| 13 | DT342 | 48442 | 3633 | 15000 | 18393 | 11558 | 1 | 191 | 0 | 15191 |
| 14 | DT343 | 56769 | 8738 | 15000 | 18393 | 3231 | 0 | 11969 | 0 | 11969 |
| 15 | DT344 | 57768 | 8180 | 15000 | 18393 | 2232 | 0 | 10412 | 0 | 10412 |
| 16 | DT345 | 58066 | 4326 | 15000 | 18393 | 1934 | 0 | 6260 | 0 | 6260 |
| 17 | DT346 | 56901 | 17854 | 15000 | 18393 | 3099 | 1 | 5953 | 1 | 2560 |
| 18 | DT347 | 57282 | 5761 | 15000 | 18393 | 2718 | 0 | 8479 | 0 | 8479 |
| 19 | DT348 | 56495 | 19266 | 15000 | 18393 | 3505 | 1 | 7771 | 1 | 4378 |
| 20 | DT350 | 51500 | 5156 | 15000 | 18393 | 8500 | 0 | 13656 | 0 | 13656 |
| 21 | DT351 | 54332 | 2493 | 15000 | 18393 | 5668 | 0 | 8161 | 0 | 8161 |
| 22 | DT352 | 44538 | 14532 | 15000 | 18393 | 15462 | 1 | 14994 | 1 | 11601 |

| | | | | | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|-------|---|-------|
| 23 | DT353 | 50541 | 5464 | 15000 | 18393 | 9459 | 0 | 14923 | 0 | 14923 |
| 24 | DT354 | 50247 | 6325 | 15000 | 18393 | 9753 | 1 | 1078 | 0 | 16078 |
| 25 | DT355 | 44343 | 16141 | 15000 | 18393 | 15657 | 2 | 1797 | 1 | 13404 |
| 26 | DT356 | 49605 | 16550 | 15000 | 18393 | 10395 | 1 | 11945 | 1 | 8552 |
| 27 | DT357 | 47200 | 2014 | 15000 | 18393 | 12800 | 0 | 14814 | 0 | 14814 |
| 28 | DT358 | 47196 | 691 | 15000 | 18393 | 12804 | 0 | 13495 | 0 | 13495 |
| 29 | DT359 | 47153 | 14920 | 15000 | 18393 | 12847 | 1 | 12767 | 1 | 9374 |
| 30 | DT360 | 44314 | 9898 | 15000 | 18393 | 15686 | 1 | 10584 | 1 | 7191 |
| 31 | DT361 | 45250 | 4005 | 15000 | 18393 | 14750 | 1 | 3755 | 1 | 362 |
| 32 | DT362 | 54315 | 2546 | 15000 | 18393 | 5685 | 0 | 8230 | 0 | 8230 |
| 33 | DT363 | 48734 | 16057 | 15000 | 18393 | 11266 | 1 | 12323 | 1 | 8930 |
| 34 | DT364 | 45955 | 9780 | 15000 | 18393 | 14045 | 1 | 8825 | 1 | 5432 |
| 35 | DT365 | 48423 | 12704 | 15000 | 18393 | 11577 | 1 | 9281 | 1 | 5888 |
| 36 | DT366 | 47034 | 14863 | 15000 | 18393 | 12966 | 1 | 12829 | 1 | 9436 |
| 37 | DT367 | 46730 | 2637 | 15000 | 18393 | 13270 | 1 | 906 | 0 | 15906 |
| 38 | DT368 | 46451 | 3025 | 15000 | 18393 | 13549 | 1 | 1574 | 0 | 16574 |
| 39 | DT370 | 49337 | 15946 | 15000 | 18393 | 10663 | 1 | 11609 | 1 | 8216 |
| 40 | DT379 | 50781 | 15243 | 15000 | 18393 | 9219 | 1 | 9462 | 1 | 6069 |
| 41 | DT380 | 50500 | 16933 | 15000 | 18393 | 9500 | 1 | 11433 | 1 | 8040 |
| 42 | DT381 | 47377 | 11379 | 15000 | 18393 | 12623 | 1 | 9002 | 1 | 5609 |
| 43 | DT384 | 48367 | 10618 | 15000 | 18393 | 11633 | 1 | 7251 | 1 | 3858 |
| 44 | DT412 | 41653 | 640 | 15000 | 18393 | 18347 | 1 | 3987 | 1 | 594 |
| 45 | DT413 | 36383 | 12273 | 15000 | 18393 | 23617 | 2 | 5890 | 1 | 17497 |
| 46 | DT414 | 40682 | 2331 | 15000 | 18393 | 19318 | 1 | 6649 | 1 | 3256 |
| 47 | DT415 | 41010 | 3559 | 15000 | 18393 | 18990 | 1 | 7549 | 1 | 4156 |
| 48 | DT416 | 39616 | 21358 | 15000 | 18393 | 20384 | 2 | 11742 | 2 | 4956 |
| 49 | DT417 | 39736 | 3809 | 15000 | 18393 | 20264 | 1 | 9073 | 1 | 5680 |
| 50 | DT418 | 41927 | 116 | 15000 | 18393 | 18073 | 1 | 3188 | 0 | 18188 |

| | | | | | | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|-------|--------------|-------|--|
| 51 | DT419 | 39047 | 23376 | 15000 | 18393 | 20953 | 2 | 14329 | 2 | 7543 | |
| 52 | DT420 | 40547 | 6041 | 15000 | 18393 | 19453 | 1 | 10494 | 1 | 7101 | |
| 53 | DT421 | 41521 | 24816 | 15000 | 18393 | 18479 | 2 | 13295 | 2 | 6509 | |
| 54 | DT422 | 38570 | 1062 | 15000 | 18393 | 21430 | 1 | 7492 | 1 | 4099 | |
| 55 | DT423 | 43902 | 15895 | 15000 | 18393 | 16098 | 2 | 1993 | 1 | 13600 | |
| 56 | DT424 | 43340 | 11232 | 15000 | 18393 | 16660 | 1 | 12892 | 1 | 9499 | |
| 57 | DT425 | 43555 | 24162 | 15000 | 18393 | 16445 | 2 | 10607 | 2 | 3821 | |
| 58 | DT426 | 39592 | 5686 | 15000 | 18393 | 20408 | 1 | 11094 | 1 | 7701 | |
| | | | | | | | TOTAL | 55 | TOTAL | 43 | |

Fuente: El autor

Tabla 19. Simulación y comparación de cambios de mando final derecho futuros hasta el fin del contrato.

| Cantidad | Equipo | Horómetro Actual | Horómetro Actual Componente | Vida Actual | Vida Recomendada | Horas para salida de contrato | Componentes para salida de contrato actual | Horómetro Componente Salida de Contrato | Componentes para salida de contrato recomendado | Horómetro componente de salida de contrato |
|----------|--------|------------------|-----------------------------|-------------|------------------|-------------------------------|--|---|---|--|
| 1 | DT329 | 55197 | 17335 | 15000 | 18393 | 4803 | 1 | 7139 | 1 | 3746 |
| 2 | DT330 | 55404 | 18769 | 15000 | 18393 | 4596 | 1 | 8365 | 1 | 4972 |
| 3 | DT331 | 48347 | 23375 | 15000 | 18393 | 11653 | 2 | 5028 | 1 | 16635 |
| 4 | DT332 | 54035 | 6193 | 15000 | 18393 | 5965 | 0 | 12158 | 0 | 12158 |
| 5 | DT333 | 51971 | 19033 | 15000 | 18393 | 8029 | 1 | 12062 | 1 | 8669 |
| 6 | DT334 | 49981 | 22349 | 15000 | 18393 | 10019 | 2 | 2367 | 1 | 13974 |
| 7 | DT335 | 52768 | 2054 | 15000 | 18393 | 7232 | 0 | 9286 | 0 | 9286 |
| 8 | DT336 | 50447 | 16935 | 15000 | 18393 | 9553 | 1 | 11488 | 1 | 8095 |
| 9 | DT338 | 50614 | 4247 | 15000 | 18393 | 9386 | 0 | 13632 | 0 | 13632 |
| 10 | DT339 | 50691 | 15846 | 15000 | 18393 | 9309 | 1 | 10155 | 1 | 6762 |
| 11 | DT340 | 50606 | 19241 | 15000 | 18393 | 9394 | 1 | 13635 | 1 | 10242 |
| 12 | DT341 | 52245 | 5010 | 15000 | 18393 | 7755 | 0 | 12765 | 0 | 12765 |
| 13 | DT342 | 48442 | 3633 | 15000 | 18393 | 11558 | 1 | 191 | 0 | 15191 |
| 14 | DT343 | 56769 | 8738 | 15000 | 18393 | 3231 | 0 | 11969 | 0 | 11969 |
| 15 | DT344 | 57768 | 8180 | 15000 | 18393 | 2232 | 0 | 10412 | 0 | 10412 |
| 16 | DT345 | 58066 | 4326 | 15000 | 18393 | 1934 | 0 | 6260 | 0 | 6260 |
| 17 | DT346 | 56901 | 5974 | 15000 | 18393 | 3099 | 0 | 9073 | 0 | 9073 |
| 18 | DT347 | 57282 | 2409 | 15000 | 18393 | 2718 | 0 | 5127 | 0 | 5127 |
| 19 | DT348 | 56495 | 5160 | 15000 | 18393 | 3505 | 0 | 8665 | 0 | 8665 |
| 20 | DT350 | 51500 | 5156 | 15000 | 18393 | 8500 | 0 | 13656 | 0 | 13656 |
| 21 | DT351 | 54332 | 5796 | 15000 | 18393 | 5668 | 0 | 11464 | 0 | 11464 |
| 22 | DT352 | 44538 | 14532 | 15000 | 18393 | 15462 | 1 | 14994 | 1 | 11601 |

| | | | | | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|-------|---|-------|
| 23 | DT353 | 50541 | 5464 | 15000 | 18393 | 9459 | 0 | 14923 | 0 | 14923 |
| 24 | DT354 | 50247 | 2868 | 15000 | 18393 | 9753 | 0 | 12621 | 0 | 12621 |
| 25 | DT355 | 44343 | 14408 | 15000 | 18393 | 15657 | 2 | 65 | 1 | 11672 |
| 26 | DT356 | 49605 | 14429 | 15000 | 18393 | 10395 | 1 | 9824 | 1 | 6431 |
| 27 | DT357 | 47200 | 2656 | 15000 | 18393 | 12800 | 1 | 456 | 0 | 15456 |
| 28 | DT358 | 47196 | 11696 | 15000 | 18393 | 12804 | 1 | 9500 | 1 | 6107 |
| 29 | DT359 | 47153 | 14303 | 15000 | 18393 | 12847 | 1 | 12150 | 1 | 8757 |
| 30 | DT360 | 44314 | 9898 | 15000 | 18393 | 15686 | 1 | 10584 | 1 | 7191 |
| 31 | DT361 | 45250 | 4005 | 15000 | 18393 | 14750 | 1 | 3755 | 1 | 362 |
| 32 | DT362 | 54315 | 2546 | 15000 | 18393 | 5685 | 0 | 8230 | 0 | 8230 |
| 33 | DT363 | 48734 | 17059 | 15000 | 18393 | 11266 | 1 | 13325 | 1 | 9932 |
| 34 | DT364 | 45955 | 9780 | 15000 | 18393 | 14045 | 1 | 8825 | 1 | 5432 |
| 35 | DT365 | 48423 | 12704 | 15000 | 18393 | 11577 | 1 | 9281 | 1 | 5888 |
| 36 | DT366 | 47034 | 14863 | 15000 | 18393 | 12966 | 1 | 12829 | 1 | 9436 |
| 37 | DT367 | 46730 | 3670 | 15000 | 18393 | 13270 | 1 | 1940 | 0 | 16940 |
| 38 | DT368 | 46451 | 3025 | 15000 | 18393 | 13549 | 1 | 1574 | 0 | 16574 |
| 39 | DT370 | 49337 | 15946 | 15000 | 18393 | 10663 | 1 | 11609 | 1 | 8216 |
| 40 | DT379 | 50781 | 15243 | 15000 | 18393 | 9219 | 1 | 9462 | 1 | 6069 |
| 41 | DT380 | 50500 | 16933 | 15000 | 18393 | 9500 | 1 | 11433 | 1 | 8040 |
| 42 | DT381 | 47377 | 11379 | 15000 | 18393 | 12623 | 1 | 9002 | 1 | 5609 |
| 43 | DT384 | 48367 | 10618 | 15000 | 18393 | 11633 | 1 | 7251 | 1 | 3858 |
| 44 | DT412 | 41653 | 640 | 15000 | 18393 | 18347 | 1 | 3987 | 1 | 594 |
| 45 | DT413 | 36383 | 23413 | 15000 | 18393 | 23617 | 2 | 17030 | 2 | 10244 |
| 46 | DT414 | 40682 | 11379 | 15000 | 18393 | 19318 | 2 | 696 | 1 | 12303 |
| 47 | DT415 | 41010 | 3559 | 15000 | 18393 | 18990 | 1 | 7549 | 1 | 4156 |
| 48 | DT416 | 39616 | 21358 | 15000 | 18393 | 20384 | 2 | 11742 | 2 | 4956 |
| 49 | DT417 | 39736 | 3809 | 15000 | 18393 | 20264 | 1 | 9073 | 1 | 5680 |
| 50 | DT418 | 41927 | 12339 | 15000 | 18393 | 18073 | 2 | 412 | 1 | 12019 |

| | | | | | | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|-------|--------------|-------|--|
| 51 | DT419 | 39047 | 23376 | 15000 | 18393 | 20953 | 2 | 14329 | 2 | 7543 | |
| 52 | DT420 | 40547 | 11206 | 15000 | 18393 | 19453 | 2 | 659 | 1 | 12266 | |
| 53 | DT421 | 41521 | 24816 | 15000 | 18393 | 18479 | 2 | 13295 | 2 | 6509 | |
| 54 | DT422 | 38570 | 1062 | 15000 | 18393 | 21430 | 1 | 7492 | 1 | 4099 | |
| 55 | DT423 | 43902 | 4657 | 15000 | 18393 | 16098 | 1 | 5755 | 1 | 2362 | |
| 56 | DT424 | 43340 | 7025 | 15000 | 18393 | 16660 | 1 | 8685 | 1 | 5292 | |
| 57 | DT425 | 43555 | 24162 | 15000 | 18393 | 16445 | 2 | 10607 | 2 | 3821 | |
| 58 | DT426 | 39592 | 8768 | 15000 | 18393 | 20408 | 1 | 14176 | 1 | 10783 | |
| | | | | | | | TOTAL | 54 | TOTAL | 44 | |

Fuente: El autor

6. CONCLUSIONES

En el presente proyecto, se hizo uso de la distribución de Weibull para realizar el análisis de la vida de componentes mayores de la flota 777F de la mina calenturitas. Esto basado en el histórico de cambios de componentes mayores por fallas de envejecimiento, basado en condición y por horas de operación. La metodología utilizada nos permitió definir la vida característica de los componentes basados en el contexto operacional de los equipos.

La metodología utilizada con ayuda del software estadístico y el histórico de fallas de componentes desde el inicio de la operación hasta la actualidad, aseguró seguir lo propuesto para actualizar el plan de mantenimiento preventivo enfocado en la vida útil de los componentes mayores de la flota 777F. Se cumplieron los objetivos específicos que encaminaron al completo desarrollo del proyecto.

Esta vida característica de los componentes mayores nos permite ajustar las horas de cambios de componentes tomados por planeación para su plan de remoción por horas. Esto teniendo en cuenta que se realizó completo el estudio de probabilidad de falla, confiabilidad o supervivencia, fallas acumuladas y promedio móvil de los últimos cambios de componentes. Teniendo en cuenta este estudio siempre como principal actor la parte financiera del proyecto, en el cual se está velando por los resultados financieros, llevados al ahorro por concepto de cambios de componentes.

Los resultados del estudio, nos ayudan a mejorar las horas de cambios pactadas al inicio del proyecto, seguimiento de los componentes que actualmente se tienen en los diferentes equipos, futura planeación de proyectos de mantenimiento y reparación (MARC) con igual contexto operacional.

En el contexto de la toma de decisiones, se tienen las gráficas de confiabilidad y probabilidad de falla de acuerdo a las horas de los componentes para tener veracidad de las decisiones de cambios de estos, en el caso que se deba extender la vida de cualquier componente estudiado en el presente proyecto. Esto teniendo en cuenta demás factores como mantenimiento basado en la condición.

Como valor agregado para futuros proyectos de estimación de vida de componentes usando Weibull, se podría revisar la causa de la falla de cada uno de los componentes y de esta manera realizar un estudio de estimación de vida de los subcomponentes. En este caso mejoraríamos la confiabilidad y disponibilidad de los equipos del proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

ABERNETHY, Robert. The new Weibull Handbook. [En línea]. 1a ed. Distributed by Paul Barringer, Diciembre 2016. Disponible en internet: <http://www.barringer1.com/>.

BORRAS, Carlos. Mantenimiento Predictivo, Desarrollo de un programa para el calculo de la confiabilidad operacional de activos basado en estadísticas Weibull. Universidad Industrial de Santander. Barranquilla 2017.

CATERPILLAR, Service Manual 777F Off High Way Truck, System Operation. Media Number RENR 5476, Caterpillar Inc., Peoria, Illinois, U.S.A.

CATERPILLAR, Service Training Meeting Guide (STMG), Global Service Learning TECHNICAL PRESENTATION. SERV1828, January 2007, Caterpillar Inc., Peoria, Illinois, U.S.A.

Dhillon, B.S. "Design Reliability Fundamentals and Applications", CRC Press, United States of America. 1999.

MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Mexico: Aladon, 2004.

PERTUZ, Alberto. Estimación de parámetros de Weibull. Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingeniería Físico Mecánicas, Octubre 2014. Disponible en internet: <http://slideplayer.es/slide/11987029/>