

ESTABLECIMIENTO DE LA VIDA ÓPTIMA DE COMPONENTES DE LA FLOTA
DE CAMIONES 789C DE LA MINA LA JAGUA USANDO WEIBULL

MARCO AURELIO ALFONSO GONZÁLEZ
FREDDY GIOVANNY ORTIZ JIMÉNEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2017

ESTABLECIMIENTO DE LA VIDA ÓPTIMA DE COMPONENTES DE LA FLOTA
DE CAMIONES 789C DE LA MINA LA JAGUA USANDO WEIBULL

MARCO AURELIO ALFONSO GONZÁLEZ
FREDDY GIOVANNY ORTIZ JIMÉNEZ

Monografía de grado presentada como requisito para optar el título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director
MIGUEL ANDRÉS QUIROGA
Especialista en Gerencia de Mantenimiento

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2017

DEDICATORIA

A Dios por darme la vida y las bendiciones recibidas día tras día, por ser mi guía y fortalecerme ante las dificultades.

A mi esposa y mejor amiga Carolina Guevara por ser mi motivación y darme apoyo para iniciar y culminar todos los proyectos de mi vida.

A mis padres por ser fuente de inspiración todos los días para superarme y ser mejor persona.

A la UIS y en especial a los profesores de esta especialización por permitirme ser parte de este programa y transferirme su conocimiento para enriquecer el mío.

Marco Aurelio Alfonso González

A mi esposa y a mis hijos por ese impulso, fortaleza, amor y calidez que me han ofrecido como familia la cual amo.

Freddy Giovanni Ortiz Jiménez

RESUMEN

TÍTULO: ESTABLECIMIENTO DE LA VIDA ÓPTIMA DE COMPONENTES DE LA FLOTA DE CAMIONES 789C DE LA MINA LA JAGUA USANDO WEIBULL.¹

AUTOR: MARCO AURELIO ALFONSO GONZÁLEZ y FREDDY GIOVANNY ORTÍZ JIMÉNEZ.²

PALABRAS CLAVES: WEIBULL, MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD, COSTO DE CICLO DE VIDA, CAMIÓN MINERO 789C, MINERÍA.

DESCRIPCIÓN O CONTENIDO: La presente monografía consiste en aplicar la distribución de probabilidad estadística weibull para determinar, mediante el uso del software estadístico, los intervalos de cambio óptimos de los componentes de la máquina, de acuerdo con sus datos históricos de remplazo.

El trabajo será realizado en el Proyecto Minero la Jagua (mina de carbón a cielo abierto) con la empresa Prodeco. Este análisis puede ser llevado a cabo en cualquier modelo de equipo minero existente en el Proyecto, sin embargo, este estudio se limitará a los componentes mayores de los camiones modelo 789C, Motores, Mandos Finales, Transmisiones y Convertidores de Torque; esto debido a que son los componentes de más alto costo en la flota, por lo que al realizar un cambio de componente fuera de los intervalos de tiempo en los que se planeó puede impactar fuertemente en la economía del contrato, afectando negativamente a la empresa.

Con este análisis de probabilidad estadística se busca encontrar cuáles son los intervalos de cambio de componentes óptimos bajo las actuales condiciones de operación de los equipos. Con esta información se ejecutan las actividades de mantenimiento que junto al monitoreo de condiciones debe llevar a que esta vida establecida se cumpla o se extienda disminuyendo los costos de reparación y cambio de componentes. La información será recolectada de las bases de datos de mantenimiento (AMT) de la flota asignada y el procesamiento de datos se hará con el Software Minitab. Se identificará cuáles son los componentes que están generando ganancias o pérdidas para establecer planes de acción sobre los componentes que no alcancen su vida esperada con el fin de prolongarla y con esta información se podrá redefinir futuros contratos de mantenimiento.

¹ Monografía.

² Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Miguel Andrés Quiroga, Especialista en Gerencia de Mantenimiento.

SUMMARY

TITLE: ESTABLISHMENT OF THE BEST LIFE OF COMPONENTS OF THE 789C TRUCK FLEET OF LA JAGUA MINE USING WEIBULL.³

AUTHOR: MARCO AURELIO ALFONSO GONZÁLEZ and FREDDY GIOVANNY ORTÍZ JIMÉNEZ ⁴.

KEYWORDS: RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE, WEIBULL, LCC (LIFE CYCLE COST), OFFHIGHWAY TRUCK 789C, MINING.

DESCRIPTION OR CONTENTS: The present monograph consists of applying the Weibull statistical probability distribution to determine, through the use of statistical software, the optimal life cycle of the components under analysis, according to their historical replacement data.

The work will be carried out at the La Jagua Mining Project (open pit coal mine) with Prodeco enterprise. This analysis can be carried out on any model of existing mining equipment in the Project; however, this study will be limited to the major components of the 789C, Engines, Final Drives, Transmissions and Torque Converters; This is because they are the most expensive components in the fleet, so when making a component change outside the time intervals in which it was planned can strongly impact on the contract economy and affecting negatively the company.

With this statistical probability analysis it is sought to find out which are the optimal component change intervals under the current operating conditions of the equipment. With this information the maintenance activities are performed and together with the activities of condition monitoring, it must lead to this established life being fulfilled or extended reducing the costs of repair and change of components. The information will be collected from the maintenance databases (AMT) of the assigned fleet and the data processing will be done with the Minitab Software. It will be identify which are the components that are generating gains or losses to establish action plans on components that do not reach their expected life in order to prolong it and with this information will be able to redefine future maintenance contracts.

³ Monograph.

⁴ Faculty of Engineering Physics and Mechanics. Mechanical Engineering School. Specialization in Maintenance Management. Director: Miguel Andrés Quiroga, Maintenance Management Specialist.

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. MARCO TEÓRICO	17
1.1 DISTRIBUCIÓN WEIBULL.....	17
1.2 CAMIÓN DE MINERÍA CATERPILLAR MODELO 789C	20
1.3 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	21
1.4 SISTEMAS DEL CAMIÓN.....	24
1.4.1 Motor.....	24
1.4.2 Sistema de enfriamiento del motor	35
1.4.3 Sistema de lubricación del motor	37
1.4.4. Sistema de combustible.....	38
1.4.5 Sistema de admisión y escape de aire del motor.....	40
1.4.6 Tren de Potencia.....	41
1.4.7 Diferencial.....	58
1.4.8 Mandos Finales.....	63
2. ANÁLISIS DE VIDA DE COMPONENTES USANDO WEIBULL.....	66
2.1 POBLACIÓN DE CAMIONES 789C MINA LA JAGUA	66
2.2 RECOPIACIÓN Y FILTRADO DE LA INFORMACIÓN	68
2.3 PROCESAMIENTO DE DATOS DE VIDA DE MOTOR.....	70
2.4 PROCESAMIENTO DE DATOS DE VIDA DE TRANSMISIÓN	75
2.5 PROCESAMIENTO DE DATOS DE VIDA DEL DIFERENCIAL	80
2.6 PROCESAMIENTO DE DATOS DE VIDA DE LOS MANDOS FINALES	85
2.7 RESUMEN DE ANÁLISIS DE DATOS DE VIDA DE COMPONENTES DE CAMIONES 789C MINA LA JAGUA.....	90

2.8 SIMULACIÓN Y COMPARACIÓN91

3. CONCLUSIONES98

BIBLIOGRAFÍA.....100

LISTA DE FIGURAS

pág.

Figura 1. Gráfica de una distribución de Weibull con $\beta=1,787$, falla por desgaste. CDF= Cumulative Distribution Function	18
Figura 2. Representación general curva de la bañera.	20
Figura 3. Camión Minero 789C CAT.....	21
Figura 4. Motor Caterpillar 3516B Usado en Camiones 789C.	25
Figura 5. Diagrama de Componentes del Sistema de Control electrónico del Motor.	26
Figura 6. Ubicación del ECM en el Motor.	27
Figura 7. Ubicación del Sensor de Presión Atmosférica del Motor.	28
Figura 8. Ubicación del Sensor de Velocidad /Tiempo del Motor.....	29
Figura 9. Ubicación del Sensor de Posición del Acelerador.	30
Figura 10. Ubicación del Sensor de Posición del Acelerador.	31
Figura 11. Ubicación del Sensor de Presión al Carter.	32
Figura 12. Sistema de renovación de aceite de motor.....	33
Figura 13.Circuito de Enfriamiento “Jacket Water”.	35
Figura 14. Circuito de Enfriamiento “Aftercooler Circuit”.....	36
Figura 15. Sistema de Lubricación del Motor.....	37
Figura 16. Sistema de Combustible.	39
Figura 17. Sistema de admisión y escape de aire del motor.	40
Figura 18. Componentes del Tren de Fuerza Camiones 789C.....	41
Figura 19. Convertidor de Torque.	42
Figura 20. Sistema Hidráulico del convertidor de Torque.	44
Figura 21. Subcomponentes del Sistema hidráulico del Convertidor de Torque. ..	45
Figura 22. Subcomponentes del Sistema hidráulico del Convertidor de Torque. ..	45
Figura 23. Subcomponentes del Sistema hidráulico del Convertidor de Torque. ..	47

Figura 24. Subcomponentes del Sistema hidráulico del Convertidor de Torque. ..	48
Figura 25. Subcomponentes del Sistema hidráulico del Convertidor de Torque. ..	49
Figura 26. Vista detallada de la válvula de embrague de cierre del convertidor de torque.....	50
Figura 27. Esquemático del control de embrague de cierre del convertidor de torque. Mando Directo.	51
Figura 28. Transmisión y Engranajes de Transferencia.....	53
Figura 29. Subcomponentes de la Transmisión.....	54
Figura 30. Transmisión Planetaria de Cambios de Potencia.	56
Figura 31. Sistema Hidráulico de la Transmisión.....	57
Figura 32. Diferencial.....	58
Figura 33. Subcomponentes del Diferencial.	59
Figura 34. Subcomponentes del Diferencial.	61
Figura 35. Esquemático Hidráulico del Sistema de Enfriamiento y filtrado del eje trasero.....	62
Figura 36. Mando Final.	64
Figura 37. Gráfico de Probabilidad de Weibull para Motores 789C. Abril 2009-Mayo 2017.	72
Figura 38. Gráfico de Supervivencia o confiabilidad para Motores 789C PLJ. Abril 2009-Mayo 2017.	74
Figura 39. Gráfico de fallas acumuladas para Motores 789C PLJ. Abril 2009-Mayo 2017.	75
Figura 40. Gráfico de Probabilidad de Weibull para Transmisiones 789C. Mayo 2010-Mayo 2017.	77
Figura 41. Gráfico de Supervivencia o confiabilidad para Transmisiones 789C PLJ.	79
Figura 42. Gráfico de fallas acumuladas para Transmisiones 789C PLJ. Mayo 2010-Mayo 2017.	80
Figura 43. Gráfico de Probabilidad de Weibull para Diferenciales 789C. Agosto 2010-Mayo 2017.	82

Figura 44- Gráfico de Supervivencia o confiabilidad para los Diferenciales 789C PLJ. Agosto 2010-Mayo 2017.....	84
Figura 45.Gráfico de fallas acumuladas para Diferenciales 789C PLJ. Agosto 2010 Mayo 2017.	85
Figura 46. Gráfico de Probabilidad de Weibull para Los Mandos Finales 789C. Septiembre 2009 - Mayo 2017.....	87
Figura 47. Gráfico de Supervivencia o confiabilidad para los Mandos Finales 789C PLJ. Septiembre 2009 - Mayo 2017.....	89

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Especificaciones Técnicas del camión 789C.	22
Tabla 2. Población de equipos 789C - Proyecto La Jagua.	67
Tabla 3. Información de remplazo de componentes mayores 789C PLJ.	69
Tabla 4. Información filtrada de remplazo de componentes mayores 789C PLJ. ...	69
Tabla 5. Información filtrada de remplazo de motores en flota 789C PLJ.	71
Tabla 6. Información filtrada de remplazo de transmisiones en flota 789C PLJ. ...	76
Tabla 7. Información filtrada de remplazo de Diferenciales en flota 789C PLJ.	81
Tabla 8. Información filtrada de remplazo de Mandos Finales en flota 789C PLJ.	86
Tabla 9. Resultados usando Weibull en los componentes mayores 789C.	91
Tabla 10. Resumen simulación cambio de frecuencia de reemplazos componentes 789D.	91
Tabla 11. Simulación y comparación de remplazos de Motor futuros hasta fin de contrato.	93
Tabla 12. Simulación y comparación de remplazos de Transmisión futuros hasta fin de contrato.	94
Tabla 13. Simulación y comparación de remplazos de Diferencial futuros hasta fin de contrato.	95
Tabla 14. Simulación y comparación de remplazos de Mando Final Izquierdos futuros hasta fin de contrato.	96
Tabla 15. Simulación y comparación de remplazos de Mando Final Derecho futuros hasta fin de contrato.	97

INTRODUCCIÓN

En la actualidad al igual que la industria petrolera, la industria minera mundial está atravesando por una crisis debido a la caída del precio de los minerales, que en el caso del carbón a nivel mundial llegó a caer de 100 \$USD la tonelada en el año 2012 a 40 \$USD la tonelada para diciembre del 2015.

Debido a esta caída de los precios del mineral, las empresas tomaron diferentes medidas que incluían recortes de personal, recortes de presupuesto de inversión, varias minas en el mundo se vieron obligadas a cerrar operaciones y por supuesto, estos recortes terminan afectando el presupuesto asignado al mantenimiento de los equipos mineros. Por esta razón las empresas operadoras mineras buscan optimizar todos sus procesos productivos con la finalidad de lograr disminuir el costo por tonelada extraída.

Una de las formas más efectivas para reducir el costo por tonelada es optimizando el ciclo de vida de los componentes para que sean removidos en intervalos de tiempo precisos de tal forma que no se corra el riesgo de llevar el componente a la falla, lo que causaría altos costos de reparación y costos de productividad por el tiempo de parada no planeada de la máquina.

La empresa RELIANZ Mining Solutions, dealer de Caterpillar en Colombia, tiene bajo contrato MARC (Maintenance and Repair Contract) el mantenimiento de los equipos mineros del operador Prodeco, filial de la multinacional Glencore; este contrato se presupuesta según el tiempo estimado de operación de la mina y los ciclos de vida establecidos de los componentes de los equipos mineros Caterpillar. Los tiempos de ciclo de vida son entregados por el fabricante Caterpillar, los cuales se denominan Líneas Centrales o Center Lines en inglés, Caterpillar determina estos tiempos recopilando información de remoción y falla de

componentes de proyectos mineros en todo el mundo que operan en condiciones muy similares, sin embargo, estas líneas base deben ser revisadas a medida que el desarrollo del proyecto avanza, para determinar si se deben ajustar.

El objetivo de esta monografía es determinar cuáles son esos ciclos de vida óptimos de los componentes bajo las actuales condiciones del proyecto, las cuales pueden hacer variar significativamente las Líneas Centrales, por factores como la severidad de la aplicación, problemas de diseño de los componentes, el nivel de experiencia de los operadores de los equipos, el nivel de destreza de los técnicos de mantenimiento, el diseño o configuración de la mina, etc.

Para desarrollar esta investigación se tomará toda la información de las bases de datos de los cambios de componentes desde su entrada en operación hasta la fecha actual y se depuran los datos de remplazo por hecho como accidentes, remociones por eventos operacionales y daños de componentes en periodo de garantía, una vez se tenga la información recolectada y filtrada se procesarán por medio del Software Minitab para realizar la distribución de probabilidad Weibull donde se mostrará como resultado los valores de cambio de componente buscados.

Una vez determinado los ciclos de vida óptimos, la información servirá para analizar junto con los indicadores de disponibilidad la tendencia del desempeño actual del contrato para la variación en ingresos y gastos, y proyectar esos costos hasta el fin de contrato; esta información permite reaccionar a los gerentes del contrato para tomar decisiones que aseguren el resultado del negocio.

1. MARCO TEÓRICO

En este trabajo investigativo se usará la distribución de probabilidad Weibull para determinar los ciclo de vida óptimos de los componentes del equipo 789C para ajustar los ciclos de vida teóricos entregados por el fabricante, para esto se usará la información propia de las bases de datos del proyecto.

1.1 DISTRIBUCIÓN WEIBULL

La distribución de Weibull fue creada por el ingeniero Wallodi Weibull en 1951, actualmente la distribución de Weibull es el modelo estadístico más popular del mundo para datos de vida y usada en muchas aplicaciones como predicción del tiempo y datos de ajuste de todos los tipos. La ventaja principal del análisis de Weibull es la capacidad de proporcionar exactitud razonable a análisis de fallas y predicción de fallas con muestras extremadamente pequeñas, con dos o tres fallas para el análisis de ingeniería.

La distribución usa dos parámetros definidos en la línea de Weibull, la pendiente, beta β , y la vida característica, eta η . La pendiente de la línea, β es particularmente significativa y puede proporcionar una pista a la física de la falla. La vida característica η , es el tiempo típico de falla en el análisis weibull, Este es relacionado al tiempo medio de falla MTTF.

En la distribución de una falla, la pendiente de la gráfica Weibull, beta β , indica cuál clase de falla está presente:

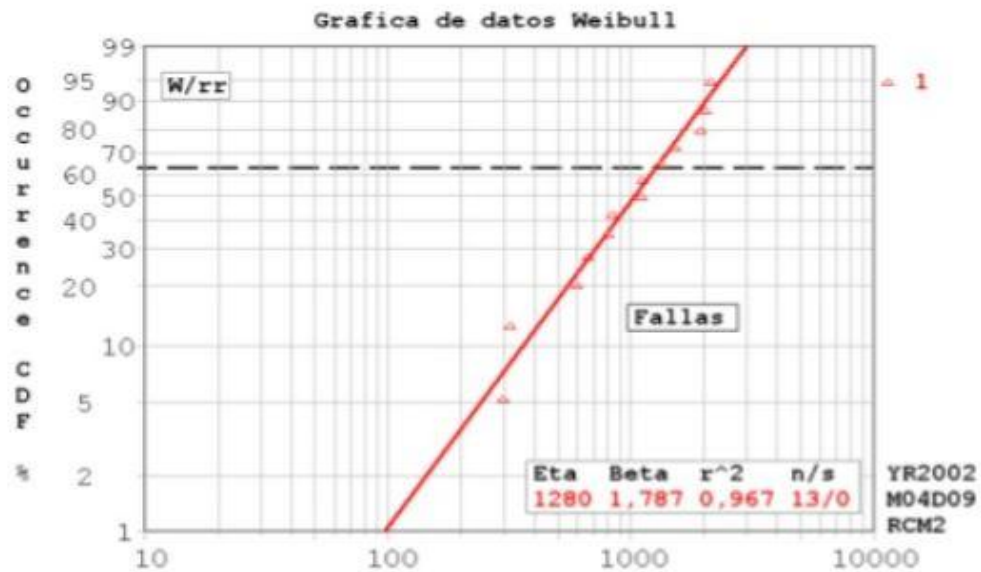
- $\beta < 1.0$ Indica Mortalidad Infantil.
- $\beta = 1.0$ Significa falla aleatoria (Independiente de la edad)

- $\beta > 1.0$ Indica falla por desgaste.

Con la gráfica de Weibull falla se puede determinar por ejemplo el tiempo en el cual el 1% de la población de la población habrá fallado, esto se llama vida “ $\beta 1$ ”.

La característica, eta η , es definida como la edad el cual el 63,2% de las unidades podrían fallar, entonces se determina como $\beta 63$, ver Figura 1.

Figura 1. Gráfica de una distribución de Weibull con $\beta=1,787$, falla por desgaste.
CDF= Cumulative Distribution Function



Fuente: ABERNETHY, Robert. The New Weibull Handbook, Fifth Edition. Florida: El Autor, 2006. ISBN 0-9653062-3-2.

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

$$F(T) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (1)$$

La Función de distribución Weibull está ilustrada en la ecuación 1, donde:

$F(t)$ = Cumulative Distribution Function (CDF).

T = Failure Time.

η = Característica de vida o parámetro de escala.

β = Parámetro de forma o pendiente.

e = 2.718281828..., base del logaritmo natural.

β muestra la clase de falla como lo 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 .

$$\text{MTTF} = \eta T (1 + 1/\beta) \quad (2)$$

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

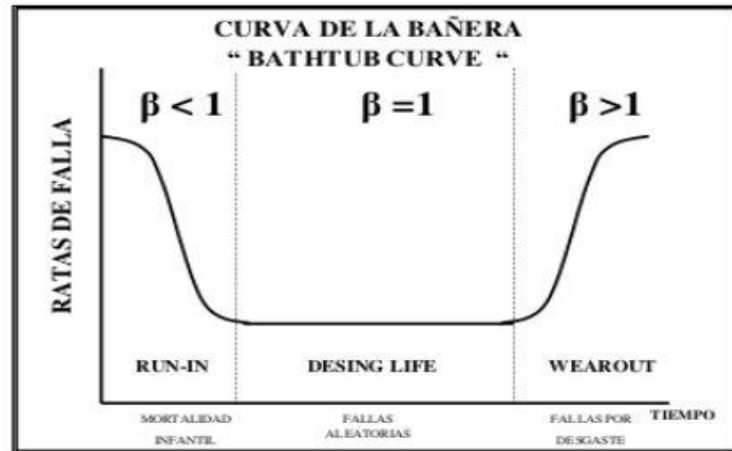
η es definida como la edad el cual el 63,2% de las unidades podrían fallar.

$$F(t = \eta) = 1 - e^{-\left(\frac{\eta}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-(1)^\beta} = 1 - 1/e = 0.632 \quad (3)$$

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, implicado en las diferentes formas de falla, en la figura 2 se muestra la curva de la bañera.

Figura 2. Representación general curva de la bañera.



Fuente: ABERNETHY, Robert. The New Weibull Handbook, Fifth Edition. Florida: El Autor, 2006. ISBN 0-9653062-3-2.

Con el análisis de la distribución de probabilidad de Weibull, se podrá definir con exactitud cuál es el intervalo de cambio de componente óptimo para la flota 789C mediante el uso del software especializado Minitab para el proyecto la Jagua.

1.2 CAMIÓN DE MINERÍA CATERPILLAR MODELO 789C

En la Figura 3 se observa la imagen del camión de minería 789C, este camión está diseñado para el movimiento de grandes cantidades de material. En el proyecto la Jagua, es usado para el transporte de material estéril (roca, arcilla, tierra, etc.).

Figura 3. Camión Minero 789C CAT.



Fuente: CATERPILLAR. 785C/789C off-highway trucks meeting guide. Peoria: La Compañía, 1998. 276 p.

1.3 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

En la tabla 1 se muestra las especificaciones técnicas del camión minero 789C.

Tabla 1. Especificaciones Técnicas del camión 789C.

Engine		
Engine Model	Cat 3516B EUI	
Gross Power – SAE J1995	1417 kW	1,900 hp
Net Power – SAE J1349	1320 kW	1,771 hp
Net Power – ISO 9249	1335 kW	1,791 hp
Net Power – 80/1269/EEC	1335 kW	1,791 hp
Bore	170 mm	6.7 in
Stroke	190 mm	7.5 in
Displacement	69 L	4,211 in ³
<ul style="list-style-type: none"> • Power ratings apply at 1,750 rpm when tested under the specified conditions for the specified standard • Ratings based on SAE J1995 standard air conditions of 25° C (77° F) and 100 kPa (29.61 Hg) barometer. Power based on fuel having API gravity of 35 at 16° C (60° F) and an LHV of 42 780 kJ/kg (18,390 BTU/lb) when engine used at 30° C (86° F). • No engine derating required up to 2300 m (7,500 ft) altitude • Complaint with U.S. Environmental Protection Agency Tier 1 emissions standards 		
Weights – Approximate		
Gross Machine Operating Weight	317 515 kg	700,000 lb
Chassis Weight	99 020 kg	218,300 lb
Body Weight Range	26 800- 29 950 kg,	59,000- 71,500 lb
<ul style="list-style-type: none"> • Chassis weight with hoist, body mounting group and tires. • Body weight varies depending on how body is equipped. 		
Operating Specifications		
Nominal Payload Capacity	177 tonnes	195 tons
Body Capacity (SAE 2:1)	105 m ³	137 yd ³
Maximum Capacity	Custom	
Top Speed – Loaded	52.6 km/h	32.7 mph
Steer Angle	36°	
Turning Diameter – Front	27.5 m	90 ft 2 in
Turning Circle Clearance Diameter	30.2 m	99 ft 2 in
<ul style="list-style-type: none"> • Body capacity (SAE 2:1) with Dual Slope Body. • Refer to the Caterpillar Mining Truck 10/10/20 Overload Policy for maximum gross machine weight limitations. 		
Transmission		
Forward 1	11.6 km/h	7.2 mph
Forward 2	15.7 km/h	9.8 mph
Forward 3	21.3 km/h	13.2 mph
Forward 4	28.7 km/h	17.8 mph
Forward 5	38.9 km/h	24.2 mph
Forward 6	52.6 km/h	32.7 mph
Reverse	10.5 km/h	6.5 mph
<ul style="list-style-type: none"> • Maximum travel speeds with standard 37.00-R57 tires. 		
Final Drives		
Differential Ratio	2.35:1	
Planetary Ratio	10.83:1	
Total Reduction Ratio	25.46:1	
<ul style="list-style-type: none"> • Double-reduction, planetary, with full floating axles. 		
Suspension		
Effective Cylinder Stroke – Front	105 mm	4 in
Effective Cylinder Stroke – Rear	93 mm	3.5 in
Rear Axle Oscillation	±5.6°	
Brakes		
Brake Surface – Front	81 693 cm ²	12,662 in ²
Brake Surface – Rear	116 283 cm ²	18,024 in ²
Standards	SAE J1473 OCT90 ISO 3450:1996	
<ul style="list-style-type: none"> • Gross Machine Operating Weight is 317 515 kg (700,000 lb). 		
Body Hoists		
Pump Flow – High Idle	731 L/min	193 gal/min
Relief Valve Setting – Raise	17 238 kPa	2,500 psi
Body Raise Time – High Idle	18.9 Seconds	
Body Lower Time – Float	17.3 Seconds	
Body Power Down – High Idle	15.6 Seconds	
<ul style="list-style-type: none"> • Twin, two-stage hydraulic cylinders mounted inside main frame; double-acting cylinders in second stage. • Power raise in both stages; power down in first stage. • Automatic body-lower modulation reduces impact on frame. 		

Approximate Weights – Dual Slope			Tires		Sound	
Gross Weight – Empty	140 852 kg	310,525 lb	Standard Tire	37.00-R57 (E4)		Sound Standards
Chassis	102 285 kg	225,500 lb	<ul style="list-style-type: none"> Productive capabilities of the 789C truck are such that, under certain job conditions, TKPH (TMPH) capabilities of standard or optional tires could be exceeded and, therefore, limit production. Caterpillar recommends the customer evaluate all job conditions and consult the tire manufacturer for proper tire selection. 			
Body	27 045 kg	59,625 lb				<ul style="list-style-type: none"> The operator sound pressure level measured according to work cycle procedures specified in ANSI/SAE J1166 MAY90 is 74 dB(A) for cab offered by Caterpillar, when properly installed and maintained and tested with doors and windows closed. The exterior sound pressure level for the standard machine measured at a distance of 15 m (49 ft) according to the test procedures specified in SAE J88 APR95, mid-gear moving operation is 82 dB(A). Hearing protection may be needed when operating with an open operator station and cab (when not properly maintained or doors/windows open) for extended periods or in a noisy environment.
Full Liner	9453 kg	20,840 lb				
Tail Extension	771 kg	1,700 lb				
Side Boards	1297 kg	2,860 lb				
<ul style="list-style-type: none"> Includes common arrangement, 100% fuel, starting system, seats, fan arrangement, exhaust system, tires, rims and 4% debris allowance. 						
Approximate Weights – Flat Floor			Service Refill Capacities		Steering	
Gross Weight – Empty	135 670 kg	299,100 lb	Fuel Tank	3222 L	851 gal	Steering Standards SAE J1511 OCT90 ISO 5010:1992
Chassis	102 240 kg	225,400 lb	Cooling System	663 L	175 gal	
Body	30 018 kg	66,200 lb	Crankcase	291 L	77 gal	<ul style="list-style-type: none"> Gross Machine Operating Weight is 317 515 kg (700,000 lb)
Grid Liner	1500 kg	3,300 lb	Differentials and Final Drives	583 L	154 gal	
Rear Third Liner	1905 kg	4,200 lb	Steering Tank	130 L	34 gal	
<ul style="list-style-type: none"> Includes common arrangement, 100% fuel, starting system, seats, fan arrangement, exhaust system, tires, rims and 4% debris allowance. 			Steering System (Includes Tank)	189 L	50 gal	
			Brake/Hoist Hydraulic Tank	531 L	140 gal	
Weight Distributions – Approximate			ROPS			
Front Axle – Empty	47%		ROPS Standards			
Rear Axle – Empty	53%		<ul style="list-style-type: none"> ROPS (Rollover Protective Structure) for cab offered by Caterpillar meets ISO 3471:1994 ROPS criteria. FOPS (Falling Objects Protective Structure) meets ISO 3449:1992 Level II FOPS criteria. 			
Front Axle – Loaded	33%					
Rear Axle – Loaded	67%					
Capacity – Dual Slope – 100% fill factor						
Struck	73 m ³	96 yd ³				
Heaped (SAE 2:1)	105 m ³	137 yd ³				
Capacity – Flat Floor – 100% fill factor						
Struck	92 m ³	102 yd ³				
Heaped (SAE 2:1)	121 m ³	158 yd ³				

Fuente: CATERPILLAR. 785C/789C off-highway trucks meeting guide. Peoria: La Compañía, 1998. 276 p.

1.4 SISTEMAS DEL CAMIÓN

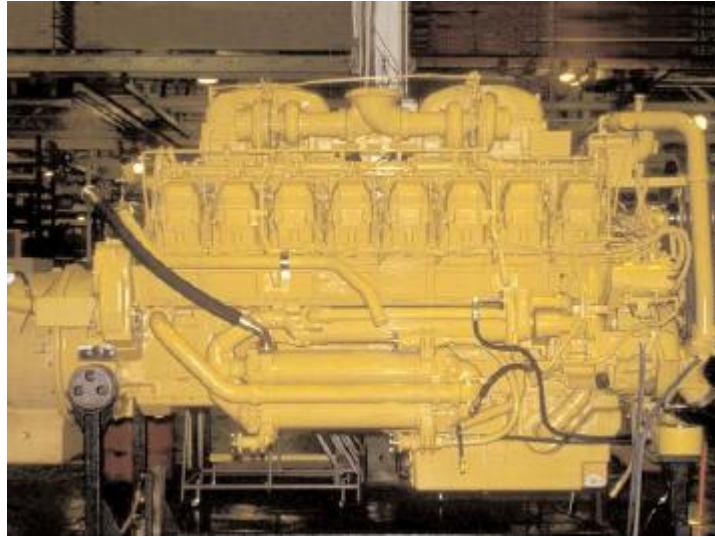
El funcionamiento del camión minero está dividido en varios sistemas que se interrelacionan entre sí para dar funcionamiento al equipo. Los principales sistemas del Camión 789C son:

- Sistema Estructural.
- Cabina del Operador.
- Motor.
- Tren de Potencia.
- Sistema de Dirección.
- Sistema de Aire y Frenos.
- Sistema de Levante.
- Sistema de Control Electrónico de Freno.

En el desarrollo de esta monografía se abarcará el Sistema Motor con sus subsistemas y el Tren de Potencia.

1.4.1 Motor. El Camión 789C usa un motor Caterpillar 3516B ilustrado en la figura 4, el cual está equipado con cuatro turbo-cargadores y con sistema post-enfriador.

Figura 4. Motor Caterpillar 3516B Usado en Camiones 789C.



Fuente: CATERPILLAR. 785C/789C off-highway trucks meeting guide. Peoria: La Compañía, 1998. 276 p.

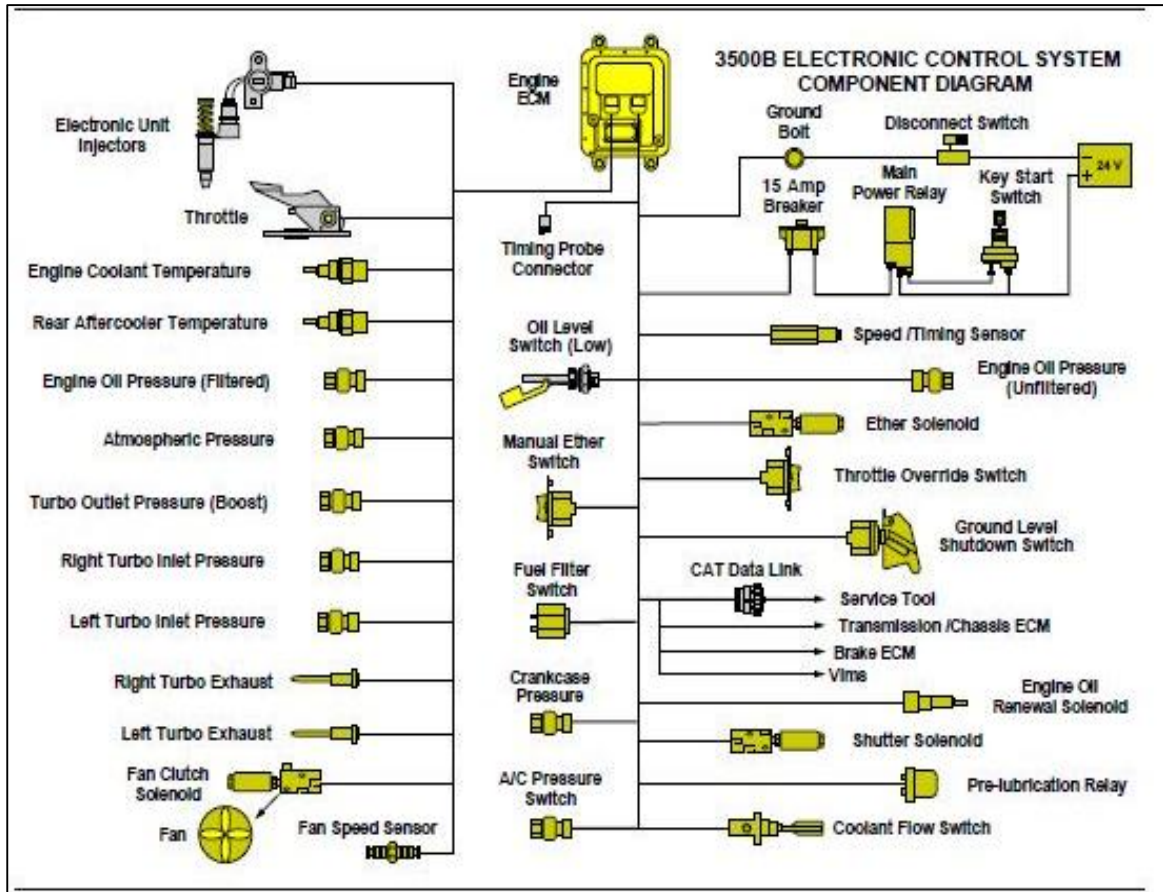
Los índices de Potencia son:

- Potencia Bruta de: 1417 kW (1900 hp)
- Potencia Neta de: 1335 kW (1790 flywheel hp)

El motor utiliza el sistema de combustible EUI (Inyección Electrónica Unitaria) para generar potencia y economía con bajos niveles de sonido y bajas emisiones.

En la figura 5 se muestra el diagrama del sistema de control electrónico usado en los motores 3516B. La inyección de combustible es controlada por el Modulo de Control Electrónico del Motor (ECM).

Figura 5. Diagrama de Componentes del Sistema de Control electrónico del Motor.



Fuente: CATERPILLAR. 785C/789C off-highway trucks meeting guide. Peoria: La Compañía, 1998. 276 p.

Muchas señales electrónicas son enviadas al ECM del motor por sensores, switches y senders. El ECM del motor analiza estas señales y determina cuándo y por cuánto tiempo energiza los solenoides del inyector.

Cuando los solenoides del inyector son energizados determina el tiempo de inyección. El tiempo en que los solenoides están energizados determina la velocidad del motor.

La inyección de combustible y otros sistemas son controlados por el ECM de motor, localizado en la parte superior del motor como se ven en la figura 6.

Figura 6. Ubicación del ECM en el Motor.



Fuente: CATERPILLAR. 785C/789C off-highway trucks meeting guide. Peoria: La Compañía, 1998. 276 p.

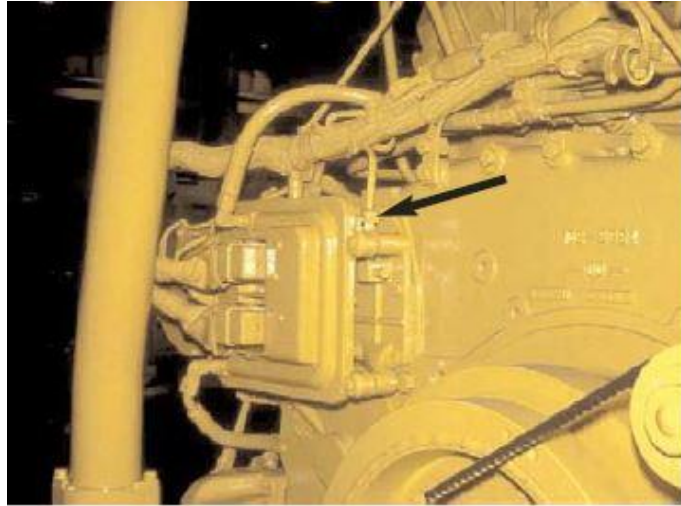
Otros sistemas controlados por el ECM del motor son:

- Pre-lubricación de Aceite de Motor.
- Función de Arranque de Motor.
- Control del Ventilador de Velocidad Variable.

El ECM del Motor es enfriado por combustible. El combustible fluye por la bomba de transferencia de combustible a través del ECM a los filtros de combustible secundarios

El Sensor de Presión Atmosférica está localizado junto al ECM de Motor como se observa en la figura 7; el Motor usa el sensor de presión atmosférica como una referencia para calcular la presión de refuerzo y la restricción de los filtros de aire.

Figura 7. Ubicación del Sensor de Presión Atmosférica del Motor.

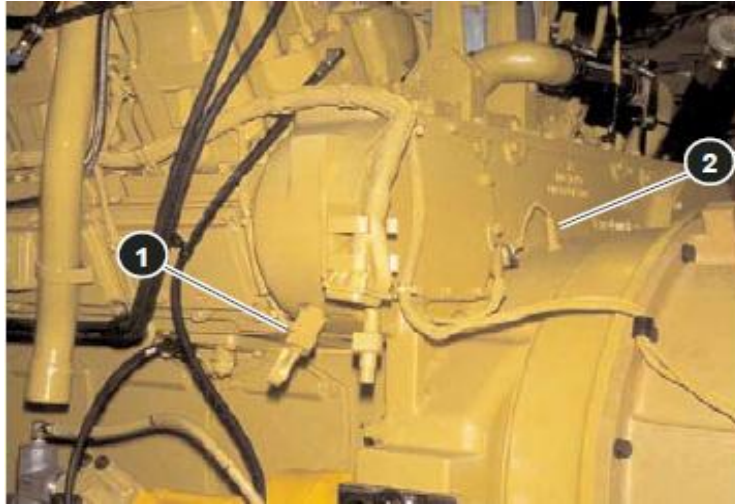


Fuente: CATERPILLAR. 785C/789C off-highway trucks meeting guide. Peoria: La Compañía, 1998. 276 p.

El sensor también es usado para derratear el motor a altas altitudes. El ECM derrateará el motor en un índice de 1% por Kpa a un máximo de 20%. El derrateo inicia a una específica elevación. El ECM también usa el sensor de presión atmosférica como una referencia para calibrar la presión de todos los sensores en el motor.

En la figura 8 se observa el sensor de velocidad y tiempo del motor (1), el cual se posiciona cerca al eje de levas izquierdo. El sensor toma el valor de la velocidad, dirección y posición del eje de levas contando los dientes y midiendo los espacios entre los dientes del piñón de tiempo el cual está montado en el eje de levas.

Figura 8. Ubicación del Sensor de Velocidad /Tiempo del Motor.



Fuente: CATERPILLAR. 785C/789C off-highway trucks meeting guide. Peoria: La Compañía, 1998. 276 p.

El sensor de velocidad y tiempo del motor es una de las más importantes entradas al ECM del motor. Si el ECM del motor no recibe una señal de entrada del sensor de velocidad y tiempo el motor no correrá.

Un sensor de velocidad de Backup (2) esta posicionado en la parte superior de la carcasa de la volante. El sensor de velocidad de backup usa el paso de dientes de la volante para proporcionar una frecuencia de salida. El sensor de velocidad de backup envía la señal de velocidad del motor al ECM de Transmisión/Chasis y al ECM de Freno.

El sensor de velocidad de backup del motor es usado para varios propósitos:

- Controlar la velocidad del Motor con el Control de Retardo Automático (ARC).
- Cálculos de los tiempos de los cambios.

- Ratificación de la Velocidad de Salida de la Transmisión (TOS).

El sensor de posición del acelerador mostrado en la figura 9, proporciona la posición del acelerador deseada al ECM del Motor. Si el ECM del motor detecta una falla en el sensor de posición del acelerador, el switch backup de acelerador puede ser usado para incrementar la velocidad del motor hasta 1300 RPM

Figura 9. Ubicación del Sensor de Posición del Acelerador.



Fuente: CATERPILLAR. 785C/789C off-highway trucks meeting guide. Peoria: La Compañía, 1998. 276 p.

En la figura 10 se muestra la parte superior de una culata con la tapa removida. La señal de salida más importante del ECM del motor es el solenoide del Inyector Unitario Electrónico (Flecha Roja). Un inyector es ubicado en cada culata, para un total de 16 inyectores. El ECM del motor analiza todas las señales de entrada y envía una señal al solenoide del inyector para controlar tiempo y velocidad del motor.

Figura 10. Ubicación del Sensor de Posición del Acelerador.



Fuente: CATERPILLAR. 785C/789C off-highway trucks meeting guide. Peoria: La Compañía, 1998. 276 p.

El tiempo del motor se determina controlando el arranque y el tiempo en que el solenoide del inyector es energizado. La velocidad del motor se determina controlando la duración en que el solenoide del inyector es energizado.

En la figura 11 se observa el sensor de presión del carter (Flecha Roja), el cual está localizado en el lado derecho del motor arriba del enfriador de aceite del motor. El sensor de presión del carter proporciona una señal de entrada al ECM del motor. El ECM proporciona una señal a el VIMS, la cual informa al operador la presión al carter.

Figura 11. Ubicación del Sensor de Presión al Carter.



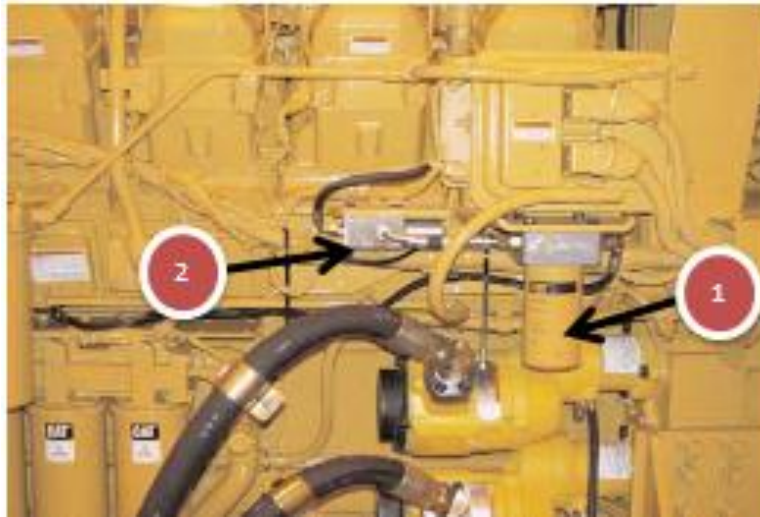
Fuente: CATERPILLAR. 785C/789C off-highway trucks meeting guide. Peoria: La Compañía, 1998. 276 p.

Alta presión al cárter (Blowby) puede ser causada por anillos del pistón desgastados o camisas desgastadas.

Si la presión del Carter excede 3.6 Kpa. (.5 psi) un evento de alta presión del Carter será gravado en el ECM.

En la Figura 12 se observan los componentes del sistema de renovación de aceite de motor, los cuales están localizados en el lado derecho del motor. El aceite de motor fluye desde el bloque del motor a través de un filtro de aceite (1) a la válvula solenoide de renovación de aceite (2).

Figura 12. Sistema de renovación de aceite de motor.



Fuente: CATERPILLAR. 785C/789C off-highway trucks meeting guide. Peoria: La Compañía, 1998. 276 p.

Cuando el solenoide es energizado y des-energizado, una pequeña cantidad de aceite fluye desde la válvula solenoide de renovación de aceite hacia la línea de combustible que retorna al tanque de combustible. El aceite de motor se mezcla con el combustible en el tanque y fluye con el combustible a los inyectores EUI para ser quemado.

Si la máquina está equipada con el sistema de renovación de aceite, los filtros de aceite de motor, el filtro del sistema de renovación de aceite, los filtros de combustibles primarios, y los filtros secundarios de combustible deben todos ser cambiados en intervalos de 500 hrs de servicio. El aceite de motor debe ser cambiado al menos una vez al año o 4000 hrs de servicio.

Las muestras de aceite deben ser tomadas regularmente para asegurar que el nivel de hollín en el aceite del motor esté en el rango de operación seguro.

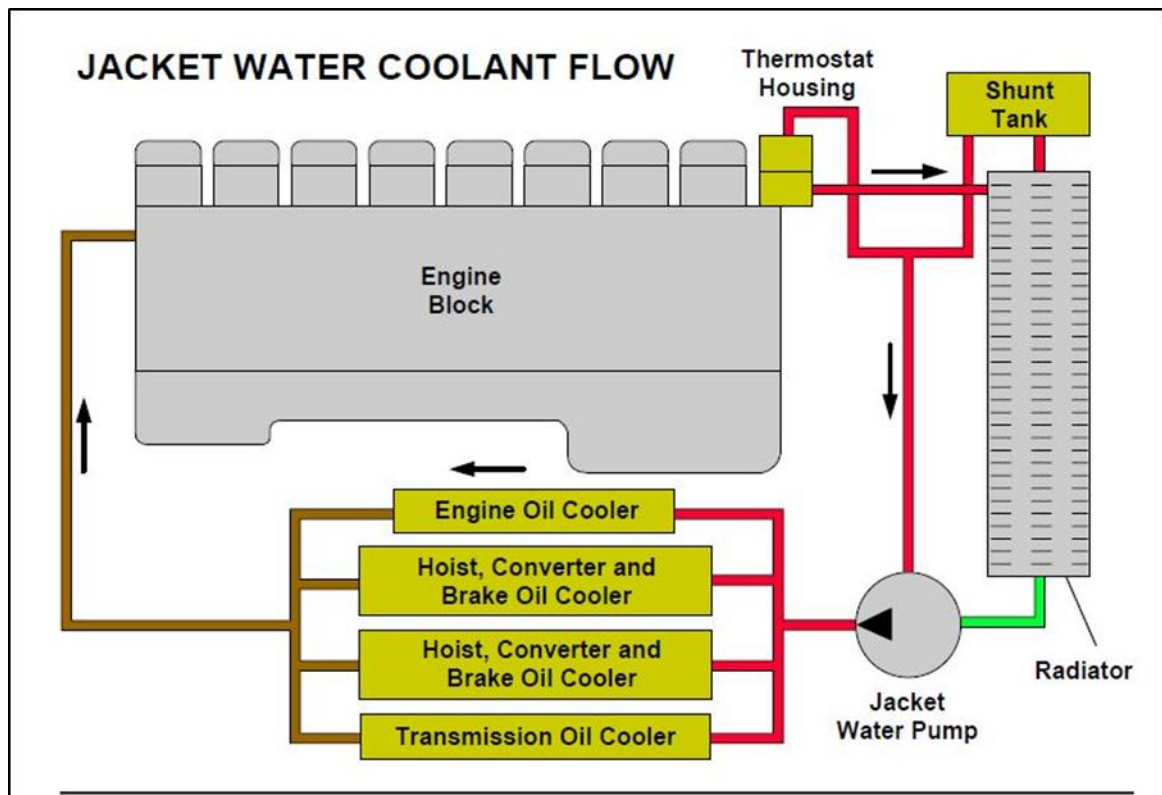
El ECM del motor regula la cantidad de aceite que es inyectado por la válvula solenoide de renovación de aceite de motor. Varios parámetros deben cumplirse antes de que el ECM permita la inyección de aceite a través del sistema de renovación de aceite de motor. Los parámetros que se deben cumplir son los siguientes:

- Las RPM del motor estén entre 110 y 1850 rpm.
- La temperatura del sistema de refrigeración esté entre 63°C y 107°C.
- La presión diferencial del filtro de aceite en altas en vacío con aceite caliente sea menor de 10 psi.
- La presión diferencial del filtro de combustible sea menor de 20 psi.
- El nivel de combustible sea mayor del 10%
- Los switches de nivel de aceite de motor estén enviando una señal válida al ECM del motor.
- El motor ha estado corriendo por más de 5 minutos.

El sistema de renovación de aceite de motor puede ser apagado o prendido con la herramienta de servicio ET. La cantidad de aceite inyectado puede también ser ajustada programando el ECM con la herramienta de servicio ET. Los ajustes de fábrica mostrados en la herramienta de servicio es "0" y es equivalente al 0.5% de aceite en relación al combustible. La relación puede ser cambiada a 0.25% hasta 0.75% de aceite en relación al combustible.

1.4.2 Sistema de enfriamiento del motor. En la Figura 13 se muestra el circuito de enfriamiento Jacket Water. El refrigerante fluye desde la bomba de agua a través de los enfriadores al bloque de motor. El refrigerante fluye a través del bloque de motor y de las culatas. De las culatas, el refrigerante fluye a los termostatos y va directamente o a la bomba a la bomba de agua a través del tubo de derivación o al radiador (dependiendo de la temperatura del refrigerante).

Figura 13. Circuito de Enfriamiento "Jacket Water".

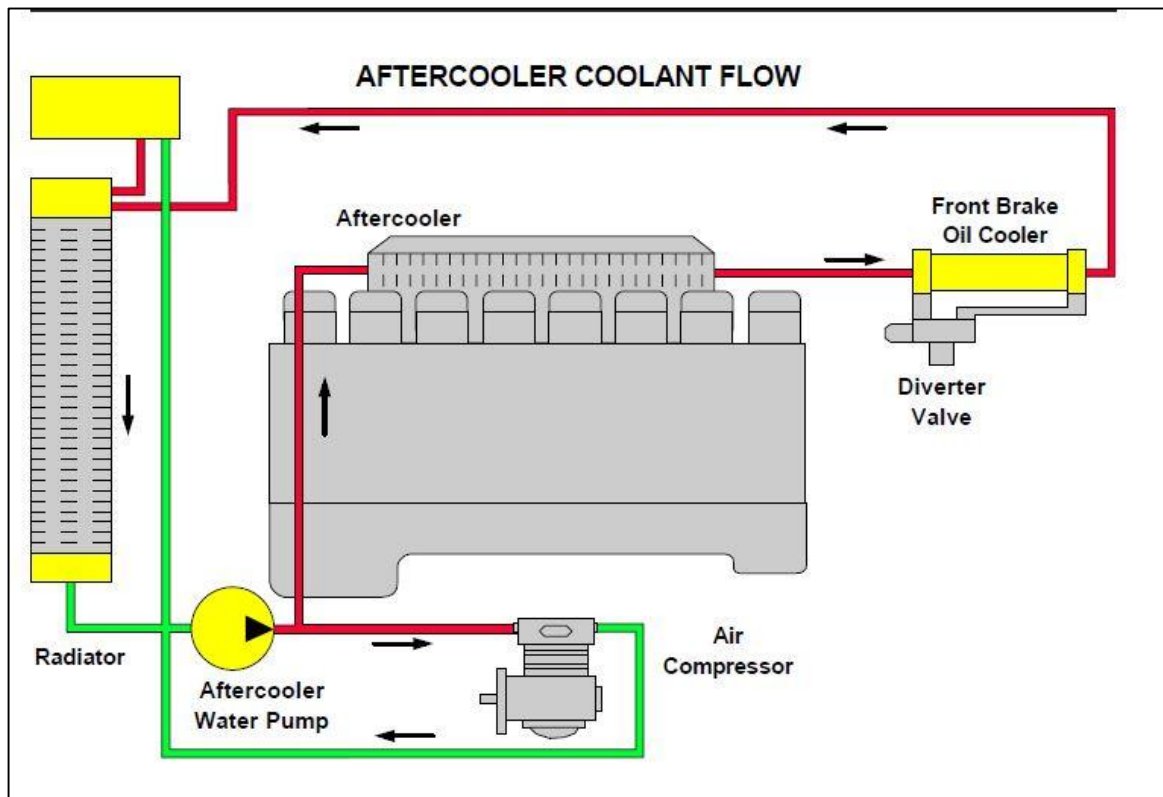


Fuente: CATERPILLAR. 785C/789C off-highway trucks meeting guide. Peoria: La Compañía, 1998. 276 p.

El tanque de derivación incrementa la capacidad de enfriamiento y proporciona una presión positiva en la entrada de la bomba de refrigerante para prevenir la cavitación durante condiciones de alto flujo

En la figura 14 se muestra el circuito de enfriamiento Aftercooler. El refrigerante fluye desde la bomba auxiliar de refrigerante a través del post-enfriador. El refrigerante fluye a través de los núcleos del post-enfriador al enfriador de aceite de freno frontal localizado en la parte trasera del motor. El refrigerante luego fluye desde el enfriador de aceite de freno frontal a la sección del post-enfriador en el radiador. Este circuito de enfriamiento Aftercooler no tiene termostatos.

Figura 14. Circuito de Enfriamiento "Aftercooler Circuit".

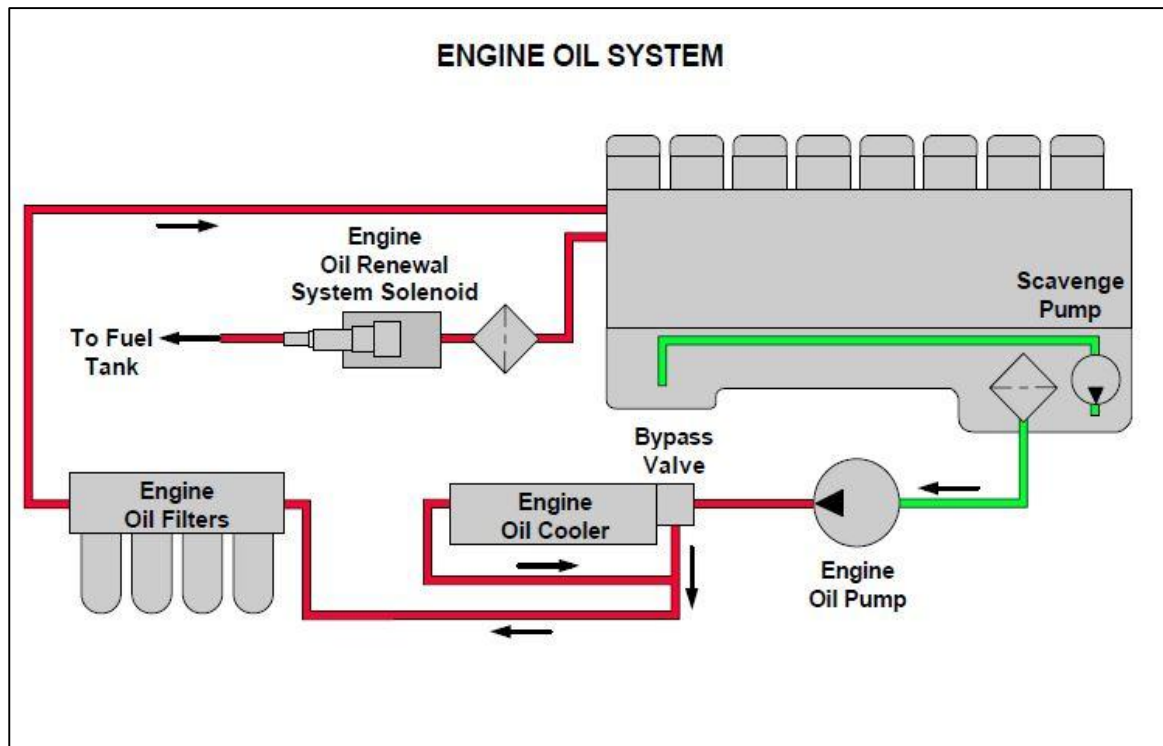


Fuente: CATERPILLAR. 785C/789C off-highway trucks meeting guide. Peoria: La Compañía, 1998. 276 p.

El tanque de derivación incrementa la capacidad de enfriamiento y proporciona una presión positiva en la entrada de la bomba auxiliar de refrigerante para prevenir la cavitación durante condiciones de alto flujo.

1.4.3 Sistema de lubricación del motor. En la figura 15 se muestra el sistema de aceite motor. La bomba de aceite motor conduce el aceite desde el Carter a través de una pantalla filtradora.

Figura 15. Sistema de Lubricación del Motor.



Fuente: CATERPILLAR. 785C/789C off-highway trucks meeting guide. Peoria: La Compañía, 1998. 276 p.

El motor también tiene una bomba de barrido en la parte trasera del motor para transferir aceite desde la parte trasera del Carter al sumidero principal.

El aceite fluye desde la bomba a través de una válvula de derivación al enfriador de aceite motor. La válvula de derivación del enfriador de aceite de motor permite el flujo de aceite al sistema durante los arranques en frío cuando el aceite está grueso o si el enfriador está taponado.

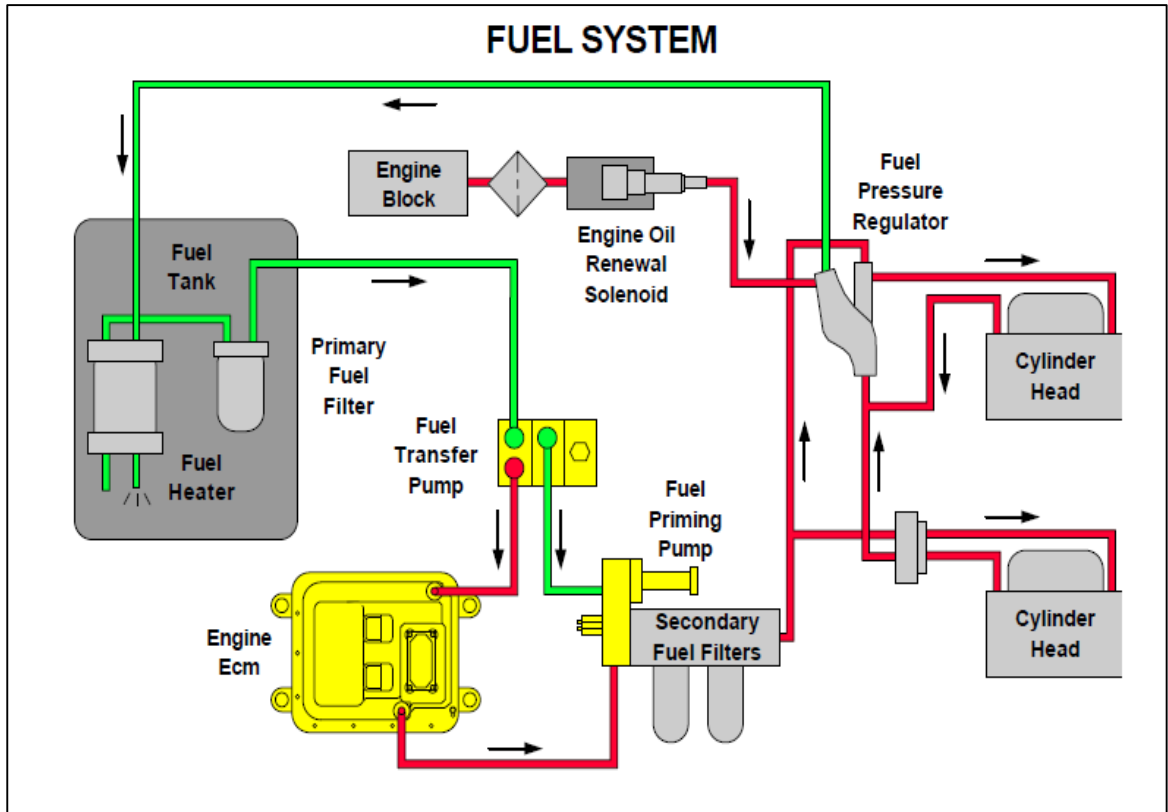
El aceite fluye desde el enfriador de aceite motor a los filtros de aceite. El aceite fluye a través de los filtros e ingresa al bloque del motor para limpiar, enfriar y lubricar los componentes internos y los turbo-cargadores.

Algunos camiones están equipados con un sistema de renovación de aceite motor. El aceite de motor fluye desde el bloque del motor.

1.4.4. Sistema de combustible. En la figura 16 se muestra el sistema de combustible del motor. El combustible es impulsado desde el tanque a través del calentador de combustible (si es equipado), y enviado a través del filtro primario de combustible por la bomba de transferencia de combustible. El combustible fluye desde la bomba de transferencia a través del ECM del Motor a los filtros secundarios de combustible.

El combustible fluye desde la base de los filtros de combustible a través de los inyectores de combustible en las culatas. El combustible retorna desde los inyectores y fluye a través del regulador de presión de combustible antes de retornar a través del calentador de combustible al tanque.

Figura 16. Sistema de Combustible.

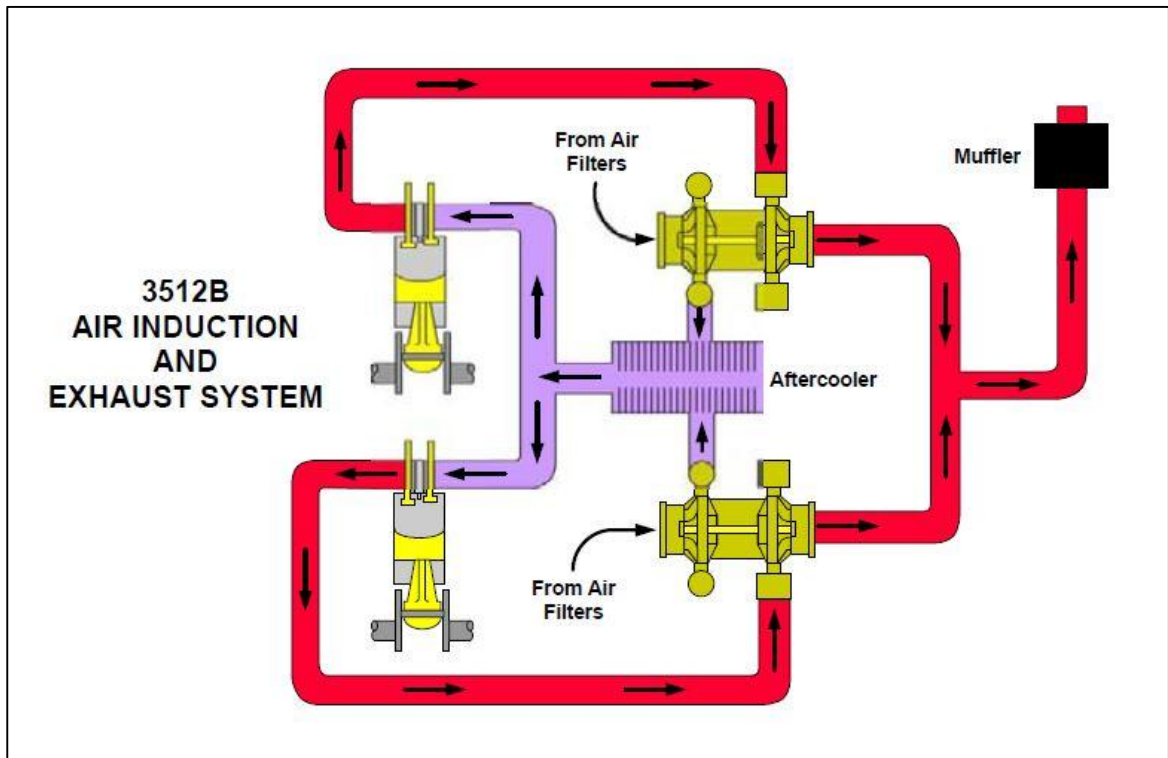


Fuente: CATERPILLAR. 785C/789C off-highway trucks meeting guide. Peoria: La Compañía, 1998. 276 p.

Si está equipado con ORS (Sistema de Renovación de Aceite), el aceite de motor fluye desde el bloque del motor a través de un filtro de aceite al manifold del sistema de renovación de aceite. Una pequeña cantidad de aceite fluye desde el manifold del sistema de renovación de aceite e ingresa al lado del retorno del regulador de presión de combustible. El aceite de motor retorna al tanque de combustible con el retorno del combustible.

1.4.5 Sistema de admisión y escape de aire del motor. El esquemático de la figura 17 muestra el flujo de aire a través del sistema de admisión y escape.

Figura 17. Sistema de admisión y escape de aire del motor.



Fuente: CATERPILLAR. 785C/789C off-highway trucks meeting guide. Peoria: La Compañía, 1998. 276 p.

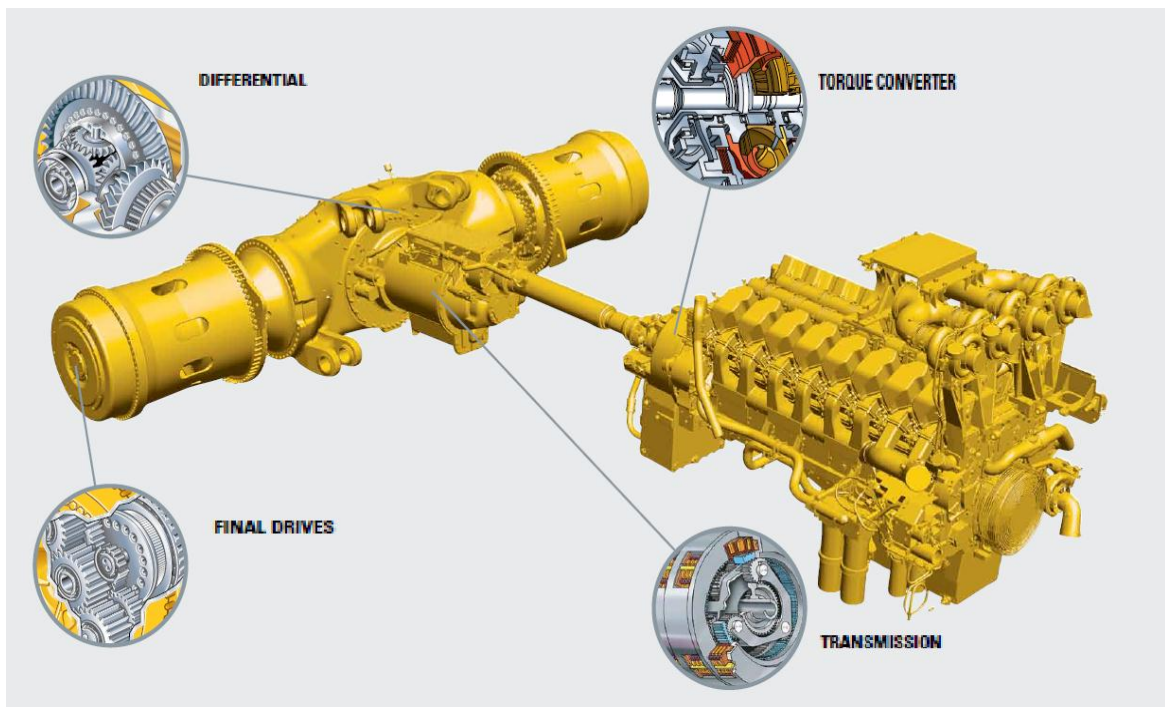
Los turbo-cargadores son impulsados por los gases de escape de las culatas el cual entra al lado de la turbina de los turbo-cargadores. Los gases de escape fluyen a través de los turbo-cargadores, la tubería de escape y los escapes.

El aire limpio de los filtros de aire ingresa al lado compresor de los turbo-cargadores. El aire comprimido de los turbo-cargadores ingresa al post-enfriador.

Luego de que el aire es enfriado por los post-enfriadores, el aire fluye a los cilindros y se combina con el combustible para la combustión.

1.4.6 Tren de Potencia. En la Figura 18 se puede observar los componentes que forman parte del tren de fuerza del camión 789C.

Figura 18. Componentes del Tren de Fuerza Camiones 789C.



Fuente: CATERPILLAR. 785C/789C off-highway trucks meeting guide. Peoria: La Compañía, 1998. 276 p.

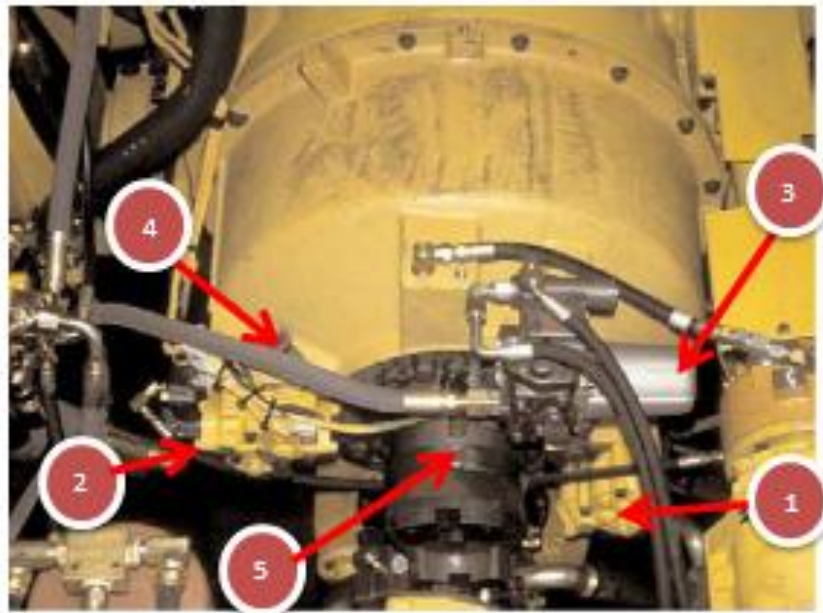
La Potencia es transmitida desde el motor a los mandos finales a través del tren de fuerza. Los componentes del tren de fuerza son:

- Convertidor de Torque.

- Engranajes de Transferencia.
- Transmisión.
- Diferencial.
- Mandos Finales.

En la figura 19 se muestra el convertidor de torque. El convertidor de torque es el primer componente del tren de fuerza. El convertidor de torque proporciona un acoplamiento del fluido que permite al motor continuar corriendo con el camión detenido. En Mando Convertidor, el convertidor de torque multiplica el torque del motor a la transmisión. A velocidades en tierra más elevadas, un embrague de cierre se acciona para proporcionar el modo Mando Directo. El rango Neutral y Reversa son solo mando Convertidor.

Figura 19. Convertidor de Torque.



Fuente: CATERPILLAR. 785C/789C off-highway trucks meeting guide. Peoria: La Compañía, 1998. 276 p.

La Primera Velocidad es mando convertidor a baja velocidad en tierra y mando directo a alta velocidad en tierra. La Segunda hasta la Sexta Velocidad son solo mando directo. El convertidor de torque va a mando convertidor entre cada cambio durante el accionamiento de los embragues para proporcionar suavidad en los cambios

Montado en el convertidor de torque se encuentra la válvula de alivio de entrada (1), la válvula de alivio de salida (2), y la válvula de control de embrague de cierre del convertidor de torque (3).

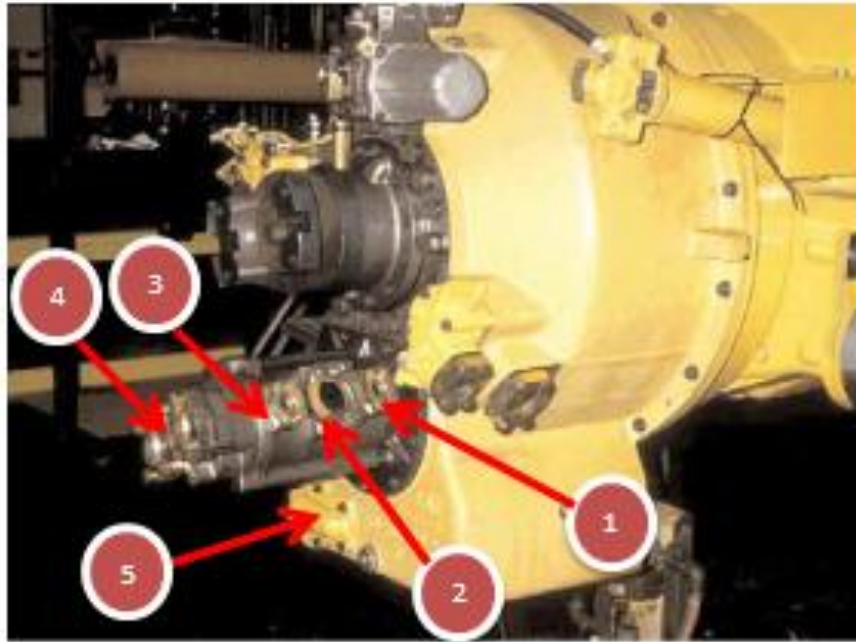
Un sensor de temperatura del salida del convertidor del torque (4) proporciona una señal de entrada al ECM de Transmisión/Chasis. El ECM de Transmisión/Chasis envía una señal al VIMS, la cual informa al operador de la temperatura de salida del convertidor del torque.

Un sensor de velocidad de salida del convertidor (COS) (5) envía una señal de entrada al ECM de Transmisión/Chasis. El ECM de Transmisión/Chasis usa la información para calcular los tiempos de cambios para el embrague de cierre del convertidor del torque y los embragues de la transmisión. La información de los tiempos de cambios o tiempos de embrague son enviados al VIMS para ser analizados.

En la figura 20 se observa la bomba de cuatro secciones del convertidor de torque la cual está localizada en la parte baja trasera del convertidor de torque. Las cuatro secciones son:

- Barrido del Convertidor de Torque (1).
- Carga del Convertidor de Torque (2).
- Liberación de Freno de Parqueo (3).
- Enfriamiento de aceite de freno trasero (4).

Figura 20. Sistema Hidráulico del convertidor de Torque.



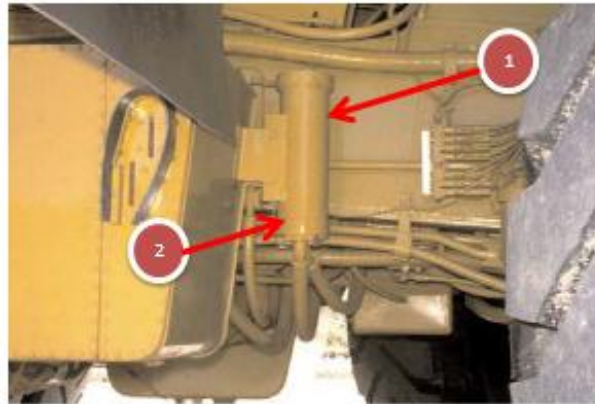
Fuente: CATERPILLAR. 785C/789C off-highway trucks meeting guide. Peoria: La Compañía, 1998. 276 p.

El exceso de aceite que se acumula en la parte baja del convertidor de torque es barrido por la primera sección de la bomba a través de una rejilla por detrás de la tapa de acceso (5) y retorna al tanque hidráulico.

En la figura 21 se observa los subcomponentes del sistema hidráulico del convertidor del torque en el cual el aceite fluye desde la sección de carga de la bomba de convertidor de torque al filtro de carga de convertidor de aceite (1).

Un interruptor de derivación del filtro de aceite (2) está localizado en el filtro de carga del convertidor de torque. El interruptor de derivación del filtro de aceite entrega una señal de entrada al VIMS, la cual informa al operador si hay restricción en el filtro.

Figura 21. Subcomponentes del Sistema hidráulico del Convertidor de Torque.



Fuente: CATERPILLAR. 785C/789C off-highway trucks meeting guide. Peoria: La Compañía, 1998. 276 p.

En la figura 22 de los subcomponentes del Sistema hidráulico del Convertidor de torque, el aceite fluye desde el filtro de carga del convertidor de torque a la válvula de alivio de entrada del convertidor de torque (1).

Figura 22. Subcomponentes del Sistema hidráulico del Convertidor de Torque.



Fuente: CATERPILLAR. 785C/789C off-highway trucks meeting guide. Peoria: La Compañía, 1998. 276 p.

La válvula de alivio de entrada limita la presión máxima del suministro de aceite del convertidor de torque. La presión de alivio de entrada del convertidor de torque puede ser medida en esta válvula removiendo un tapón e instalando un racor de presión. Normalmente, la presión de alivio de entrada será un poco mayor a la presión de la válvula de alivio de salida.

Algo de aceite fugará a través del Convertidor de Torque a la parte inferior de la carcasa para ser barrida. La mayor parte del aceite en el convertidor de torque es usado para proporcionar un acoplamiento de fluido y fluye a través de la válvula de alivio de salida del convertidor de torque (2). La válvula de alivio de salida mantiene la presión mínima dentro del convertidor de torque. La principal función dentro de la válvula de alivio de salida es mantener el convertidor de aceite lleno de aceite para prevenir la cavitación. La presión de alivio de salida puede ser medida en la toma presión (3).

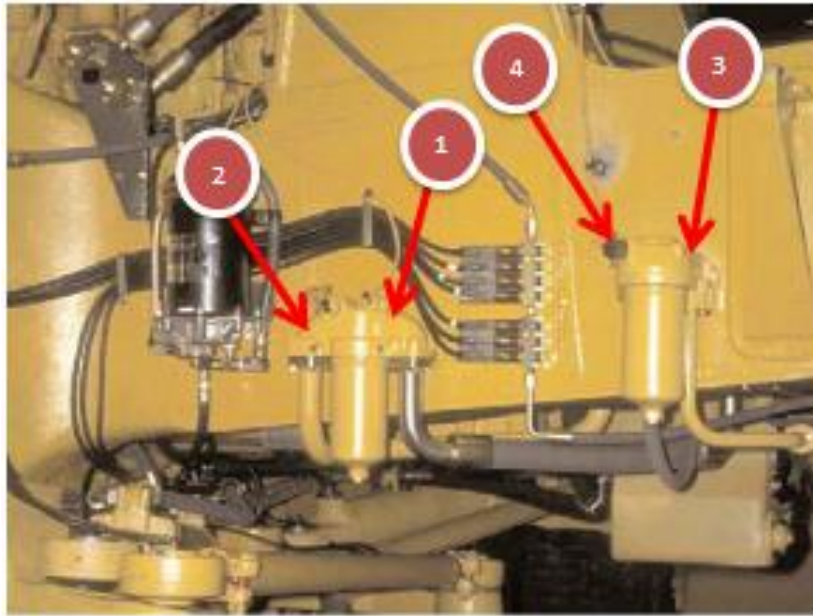
La mayoría del aceite de la válvula de alivio de salida del convertidor de torque fluye a través de la rejilla de salida del convertidor de torque (1) en la Figura 23, que está ubicada en la parte externa a la izquierda del chasis.

Un interruptor de derivación de la rejilla de salida del convertidor de torque (2) entrega una señal de entrada al VIMS, la cual informa al operador si la rejilla de salida del convertidor de torque se encuentra con restricción o taponada.

El aceite fluye desde la rejilla de salida del convertidor de torque al enfriador de aceite de frenos frontales ubicado en la parte de atrás del motor.

El aceite fluye desde la sección de liberación de freno de parqueo de la bomba de convertidor de torque al filtro de liberación de freno de parqueo (3).

Figura 23. Subcomponentes del Sistema hidráulico del Convertidor de Torque.



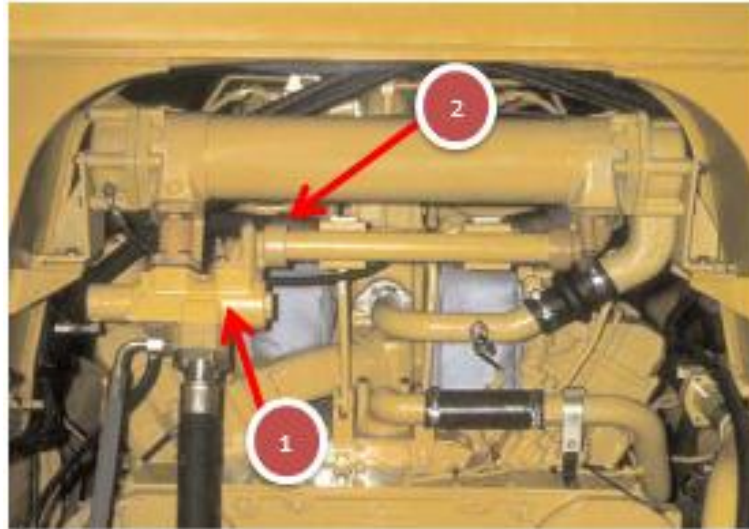
Fuente: CATERPILLAR. 785C/789C off-highway trucks meeting guide. Peoria: La Compañía, 1998. 276 p.

Un interruptor de derivación del filtro de liberación del freno de parqueo (4) está localizado en el filtro de liberación de freno de parqueo. El interruptor de derivación entrega una señal de salida del ECM de freno. El ECM de Freno envía una señal al VIMS, la cual informa al operador si el filtro de liberación de freno de parqueo se encuentra con restricción o taponado.

En la figura 24, el aceite de la rejilla de salida del convertidor de torque fluye a través de la válvula derivadora (1) antes de fluir a través del enfriador de aceite de freno frontal (2). Cuando el retardador o los frenos de servicio son ACTIVADOS, el aceite se desvía a través de los enfriadores a los frenos. Cuando los frenos son LIBERADOS, el aceite se deriva y fluye directamente a los frenos.

El desvío de aceite alrededor del enfriador proporciona aire de post-enfriador de temperatura más baja durante la alta potencia (Cuando se sube un rampa con los frenos liberados, por ejemplo).

Figura 24. Subcomponentes del Sistema hidráulico del Convertidor de Torque.

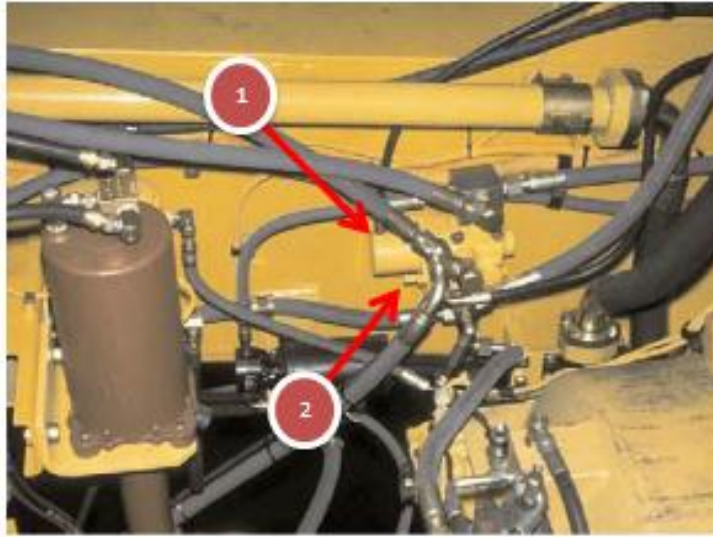


Fuente: CATERPILLAR. 785C/789C off-highway trucks meeting guide. Peoria: La Compañía, 1998. 276 p.

El aceite de los filtros de liberación de freno de parqueo fluye a la válvula de liberación de freno de parqueo (1) en la Figura 25. La sección de liberación de freno de parqueo de la bomba del convertidor de torque entrega suministro de aceite para varios propósitos:

- Liberación de frenos de parqueo.
- Accionamiento del embrague de cierre del convertidor.
- Aceite piloto de la válvula de levante.
- Enfriamiento de aceite de freno frontal.

Figura 25. Subcomponentes del Sistema hidráulico del Convertidor de Torque.



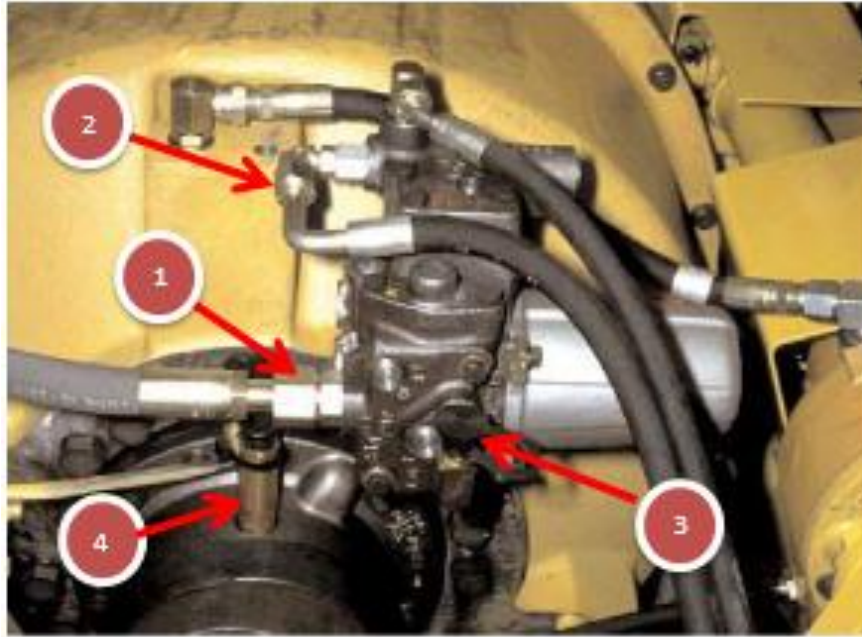
Fuente: CATERPILLAR. 785C/789C off-highway trucks meeting guide. Peoria: La Compañía, 1998. 276 p.

La válvula de liberación de freno de parqueo (2) controla la presión de liberación de freno de parqueo, el embrague de cierre de convertidor de torque y el aceite piloto de la válvula de levante.

La mayoría del aceite de la válvula de liberación de freno de parqueo fluye al enfriador de aceite de freno frontal.

La bomba de liberación de freno de parqueo suministra aceite a la válvula de embrague de cierre del convertidor de torque a través del puerto de entrada (1) en la Figura 26. Cuando el solenoide del embrague de cierre (Localizado en la carcasa de la transmisión) es energizado por el ECM de la Transmisión/Chasis, el aceite entregado por la bomba de la transmisión (señal de aceite) ingresa a la válvula de cierre a través de la manguera del centro (2).

Figura 26. Vista detallada de la válvula de embrague de cierre del convertidor de torque.



Fuente: CATERPILLAR. 785C/789C off-highway trucks meeting guide. Peoria: La Compañía, 1998. 276 p.

La presión de aceite señal es de aproximadamente 1725 Kpa (20 Psi). El aceite de la señal hace que la válvula de bloqueo inicie el proceso de modulación para el bloqueo del convertidor de torque. La válvula del embrague de bloqueo luego suministra aceite para ACCIONAR el embrague de bloqueo en el convertidor de torque.

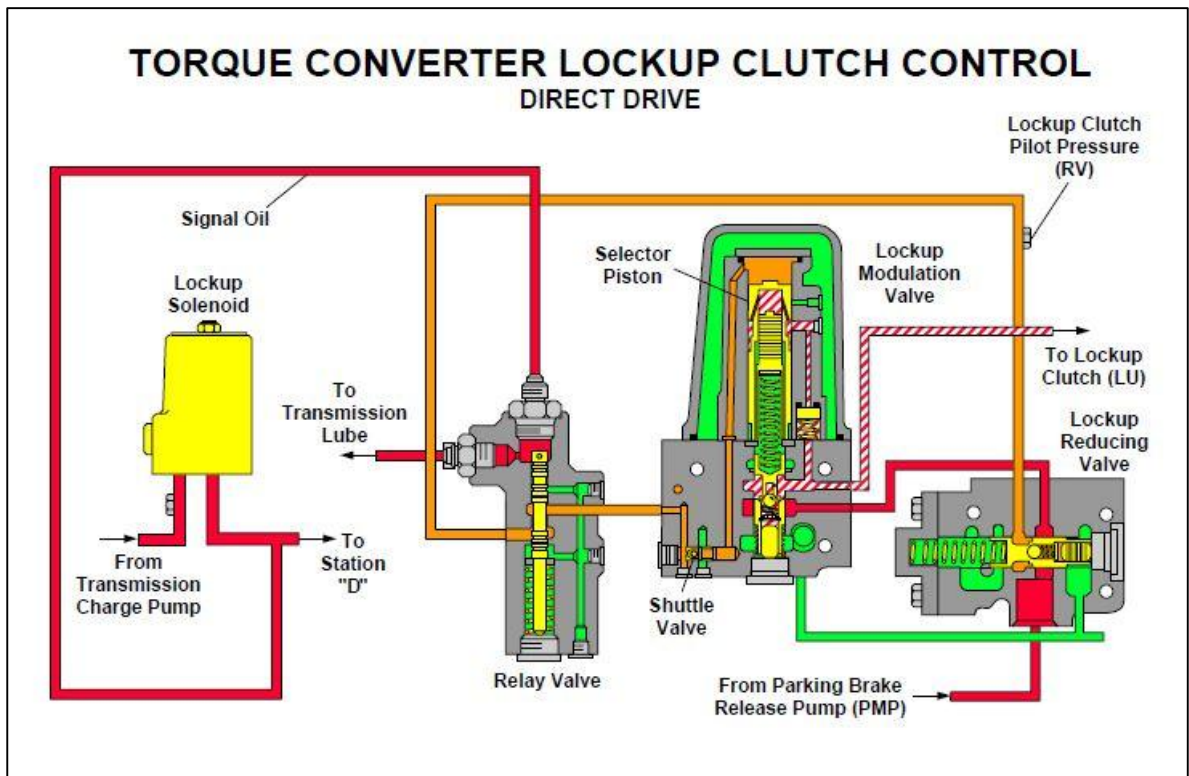
La presión del embrague de bloque del convertidor del torque puede ser medido en el tapón (3). La presión del embrague del convertidor de torque debe ser 310+-10 psi a 13000 o más rpm.

El sensor de velocidad de salida del convertidor de torque (COS) (4) envía una señal de entrada al ECM de la Transmisión/Chasis. La memoria del ECM de

Transmisión/Chasis también contiene las rpm del motor y la velocidad de salida de la transmisión (TOS) para cada engranaje de la transmisión. El ECM de Transmisión/Chasis entrega todas estas señales de entrada al VIMS.

Usando la información del ECM de Transmisión/Chasis, el VIMS calcula si existe cualquier deslizamiento en el embrague de bloqueo del convertidor de torque o en los embragues de la transmisión y almacena esta información al módulo de VIMS principal. Esta información puede ser descargada del VIMS con un computador.

Figura 27. Esquemático del control de embrague de cierre del convertidor de torque. Mando Directo.



Fuente: CATERPILLAR. 785C/789C off-highway trucks meeting guide. Peoria: La Compañía, 1998. 276 p.

En la Figura 27 se muestra una vista seccional del embrague de cierre del convertidor de torque en Mando Directo. El suministro de aceite de la bomba de liberación de freno de parqueo se usa para entregar aceite al embrague de bloqueo.

Primero, la presión de suministro se reduce para entregar presión piloto a la válvula relay. El aceite de suministro a la válvula de reducción de presión fluye a través de los orificios de sección transversales en el carrete, pasa por una válvula anti retorno e ingresa a la cámara de la boquilla. La válvula anti retorno amortigua el movimiento del carrete y reduce la posibilidad de vibración de la válvula y fluctuaciones de presión. La presión de aceite mueve la boquilla en el extremo derecho del carrete hacia la derecha y el carrete se mueve a la izquierda contra la fuerza del resorte. La boquilla reduce el área efectiva en el cual la presión de aceite puede empujar. Debido a la reducida área efectiva, se puede usar un resorte más pequeño y más sensible. La presión del piloto será igual a la presión del resorte en el extremo izquierdo del carrete. La presión del resorte puede ser ajustada con calzos. La presión piloto es de 1725 ± 70 kPa (250 ± 10 psi).

Cuando el solenoide de bloqueo es energizado, la presión de suministro (señal) de la bomba de la transmisión es direccionada a la válvula Relay. Antes de mover el pistón selector, el aceite piloto mueve una válvula de lanzadera hacia la derecha, que cierra el paso de drenaje inferior izquierdo y abre la válvula de retención. Entonces el aceite fluye al pistón selector. El movimiento del pistón selector bloquea el paso de drenaje superior y los resortes del pistón de carga se comprimen.

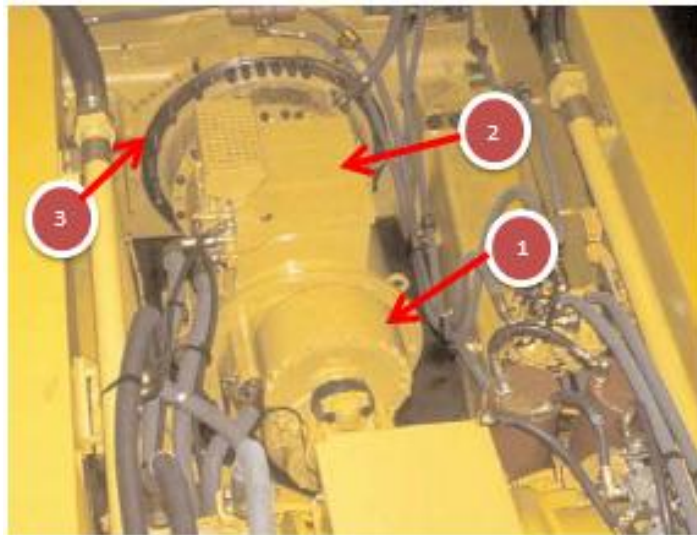
Cuando el solenoide es energizado, el aceite de suministro de la bomba de alivio de parqueo es reducido para proporcionar la presión del embrague de bloqueo. La presión del embrague de bloqueo depende principalmente de la fuerza de los resortes de la válvula de pistón de carga. Cuando el solenoide es energizado, el

aceite piloto mueve el pistón selector hacia abajo contra un tope. Cuando el pistón de carga que comprime los resortes está en la parte superior contra el pistón selector, la presión del embrague de bloqueo está en su más bajo valor controlado. Este valor es llamado “presión primaria”. Cuando el pistón de carga se mueve hacia abajo, la presión del embrague de bloqueo incrementa gradualmente, hasta que el pistón de carga se detiene. La máxima presión de bloqueo es alcanzada. El incremento gradual de presión, la cual depende en qué tan rápido el pistón de carga se mueva, es llamado “modulación”.

La velocidad del movimiento del pistón de carga depende en qué tan rápido el aceite puede fluir al área superior del pistón de carga. El orificio del pistón de carga mide el flujo de aceite a la cámara del pistón de carga y determina el tiempo de modulación.

La potencia fluye desde el convertidor de torque a través del eje de mando principal a los engranajes de transferencia (1) en la figura 28. Los piñones de transferencia están ranurados al eje de entrada de la transmisión.

Figura 28. Transmisión y Engranajes de Transferencia.



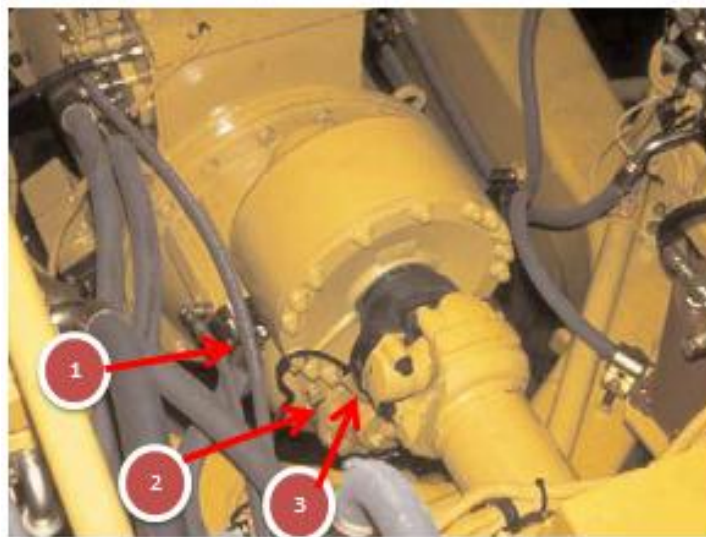
Fuente: CATERPILLAR. 785C/789C off-highway trucks meeting guide. Peoria: La Compañía, 1998. 276 p.

La transmisión (2) está localizada entre los engranajes de transferencia y el diferencial (3). La transmisión es electrónicamente controlada e hidráulicamente operada como en todas las otras transmisiones ICM (Modulación de embrague individual) en camiones de chasis rígido Caterpillar.

El diferencial está localizado en la carcasa del eje trasero detrás de la transmisión. La potencia de la transmisión fluye a través del diferencial y es dividida en partes iguales a los mandos finales en las llantas traseras. Los mandos finales son de doble reducción planetaria.

El aceite fluye desde el enfriador de aceite de la transmisión a los engranajes de transferencia a través de la manguera (1) en la figura 29. El aceite de lubricación fluye a través de los engranajes de transferencia y la transmisión para enfriar y lubricar los componentes internos.

Figura 29. Subcomponentes de la Transmisión.



Fuente: CATERPILLAR. 785C/789C off-highway trucks meeting guide. Peoria: La Compañía, 1998. 276 p

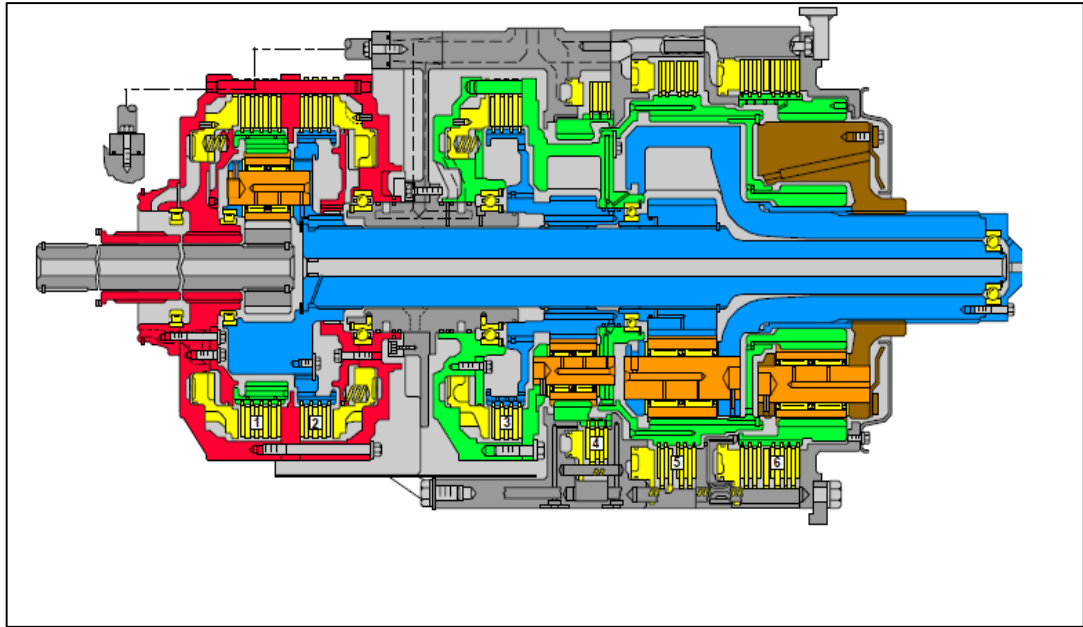
La válvula de alivio de presión de lubricación de la transmisión está en la carcasa de la transmisión, cerca de la válvula de control hidráulico de la transmisión. La válvula de alivio limita la presión máxima en el circuito de lubricación de la presión.

El sensor de velocidad de salida de la transmisión (TOS) (3) está localizado en el frente de los engranajes de transferencia. Un pequeño eje corre desde la ubicación del sensor de velocidad a través de todo el largo de la transmisión y engancha al eje de salida de la transmisión. La señal del sensor de velocidad de la transmisión sirve para varios propósitos:

- Cambios automáticos de la transmisión.
- Operación del velocímetro.
- Límite de velocidad máxima del Sistema de Control de Tracción (TCS).
- Cálculo de distancias del Sistema de Administración de Producción del Camión (TPMS).
- Señal de entrada de velocidad de la máquina al VIMS para determinar algunas categorías de alarmas.

La transmisión ilustrada en la figura 30, es de diseño planetario de cambios de potencia la cual contiene seis embragues accionados hidráulicamente. La transmisión proporciona seis velocidades hacia adelante y una velocidad de reversa.

Figura 30. Transmisión Planetaria de Cambios de Potencia.



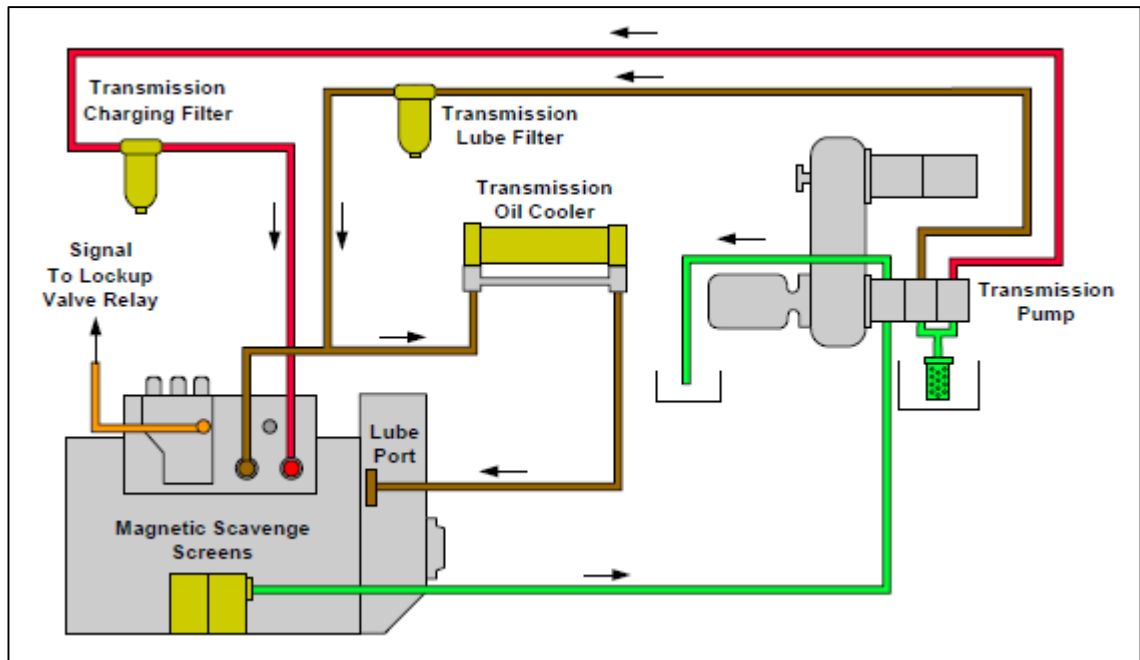
Fuente: CATERPILLAR. 785C/789C off-highway trucks meeting guide. Peoria: La Compañía, 1998. 276 p.

La Figura 31 muestra el sistema hidráulico de la Transmisión. La bomba de la Transmisión empuja el aceite a través de la rejilla de succión desde el tanque de la transmisión.

La bomba de tres secciones de la transmisión está montada en la parte de atrás del toma fuerza, el cual está localizado dentro del chasis al lado derecho cerca al convertidor de torque. Las tres secciones de la bomba son:

- Barrido de la Transmisión.
- Lubricación de la Transmisión.
- Carga de la Transmisión.

Figura 31. Sistema Hidráulico de la Transmisión.



Fuente: CATERPILLAR. 785C/789C off-highway trucks meeting guide. Peoria: La Compañía, 1998. 276 p.

La sección de barrido de la transmisión empuja el aceite a través de la rejilla magnética localizada en la parte baja de la transmisión. El aceite barrido de la transmisión es enviado al tanque de la transmisión.

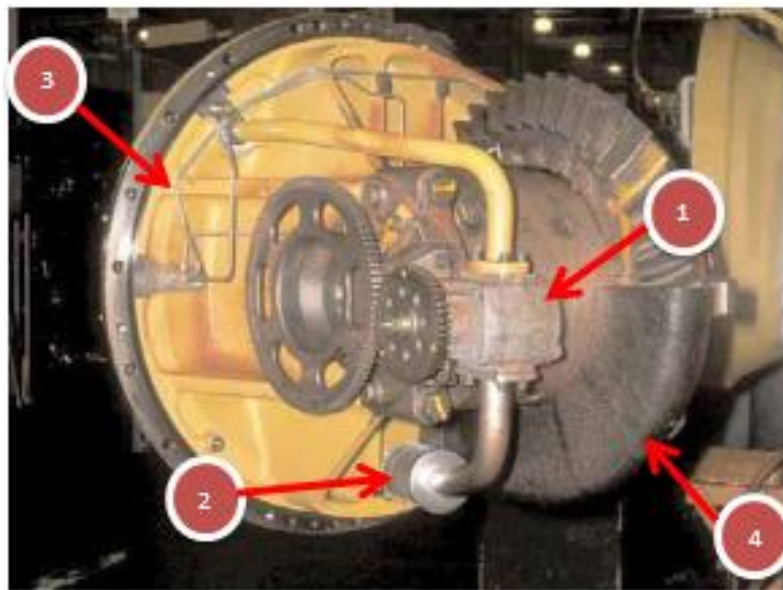
El aceite fluye desde la sección de carga de la bomba de la transmisión al filtro de carga de la transmisión. El aceite fluye del filtro de carga de la transmisión a la válvula de control de la transmisión localizada en la parte superior de la transmisión. El aceite de carga de la transmisión fluye de la válvula de control de la transmisión y se une con el aceite de la sección de lubricación de la transmisión de la bomba.

El aceite fluye de la sección de lubricación de la bomba de la transmisión a los filtros de lubricación de la transmisión.

El aceite fluye de los filtros de lubricación de la transmisión y la válvula de control de la transmisión a través del enfriador de aceite de la transmisión. El aceite fluye del enfriador de aceite de la transmisión a los engranajes de transferencia y a la transmisión para enfriar y lubricar los componentes internos.

1.4.7. Diferencial. La Figura 32 muestra el Diferencial removido de la carcasa del eje trasero. El sistema de enfriamiento y filtrado inicia con una bomba de eje trasero (1) que es conducida por el diferencial. Dado que la bomba gira solo cuando la máquina está en movimiento, no se produce flujo de aceite cuando la máquina está parada. El flujo de aceite de enfriamiento incrementa con la velocidad en tierra para proporcionar enfriamiento cuando más se necesita.

Figura 32. Diferencial.

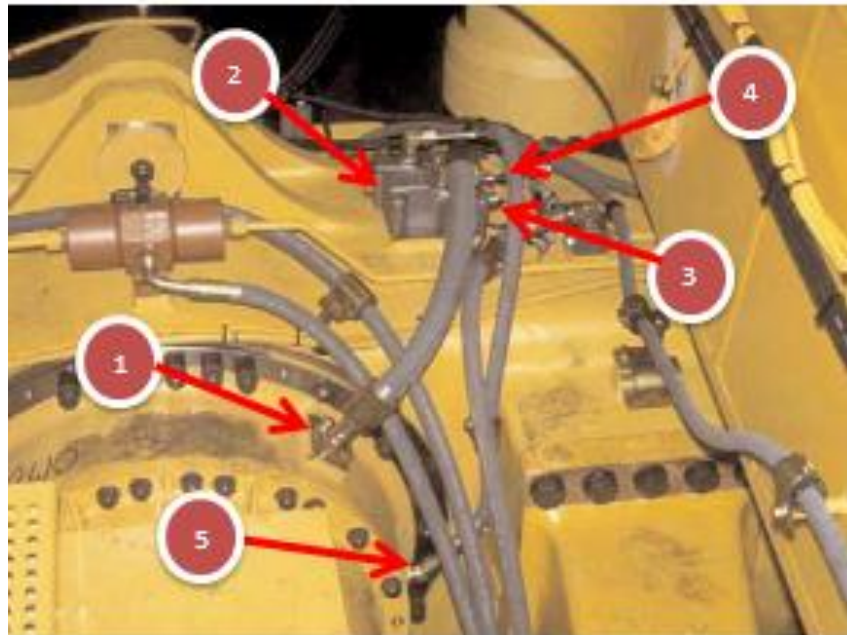


Fuente: CATERPILLAR. 785C/789C off-highway trucks meeting guide. Peoria: La Compañía, 1998. 276 p.

La bomba de eje trasero empuja el aceite desde la parte baja de la carcasa de eje trasera a través de una rejilla de succión (2). El aceite fluye desde la bomba a través de la válvula de control de flujo y temperatura localizada en la parte superior de la carcasa del diferencial hacia un filtro montado en la parte trasera de la carcasa del eje trasero. El aceite luego fluye desde el filtro hacia la válvula ubicada en la parte superior de la carcasa. El aceite luego fluye desde la válvula a los cojinetes del wheel trasero y los cojinetes del diferencial.

El aceite fluye a través de los tubos (3) a los cojinetes del diferencial. La cubierta de fibra de vidrio (4) reduce la temperatura del aceite del eje trasero en los trayectos largos reduciendo el aceite que salpica en el engranaje cónico.

Figura 33. Subcomponentes del Diferencial.



Fuente: CATERPILLAR. 785C/789C off-highway trucks meeting guide. Peoria: La Compañía, 1998. 276 p.

El aceite fluye desde la bomba a través de una manguera larga (1) de la figura 33, a la válvula de control de flujo y temperatura del eje trasero (2). Un sensor de temperatura de aceite diferencial (3) y un sensor de presión (4) están localizados en la válvula de control de flujo y temperatura. El sensor entrega señales de entrada al ECM de freno. El ECM de freno envía la señal al VIMS.

La señal de entrada del sensor de temperatura diferencial es usada para advertir al operador de una condición de alta temperatura de aceite en el eje trasero o para encender el ventilador de enfriamiento de eje trasero.

La señal de entrada del sensor de presión de aceite de diferencial es usada para advertir al operador de una condición de alta o baja presión de aceite en el eje trasero.

La válvula de control de presión y temperatura (2) previene de alta presión de aceite cuando el aceite del eje trasero está frío. Cuando la temperatura del aceite está por debajo de 43°C, la válvula está abierta y permite que el aceite fluya a la carcasa del eje trasero. Cuando la temperatura del aceite está por arriba de 43°C, la válvula está cerrada y todo el aceite fluye a través de los filtros a una válvula de control de flujo localizada en la válvula de control de flujo y temperatura. La válvula de control de presión y temperatura es también el sistema principal de la válvula de alivio. Si la presión excede los 100 psi, la temperatura y la válvula de control de presión y temperatura abrirá para prevenir alta presión de aceite al filtro de aceite del eje trasero.

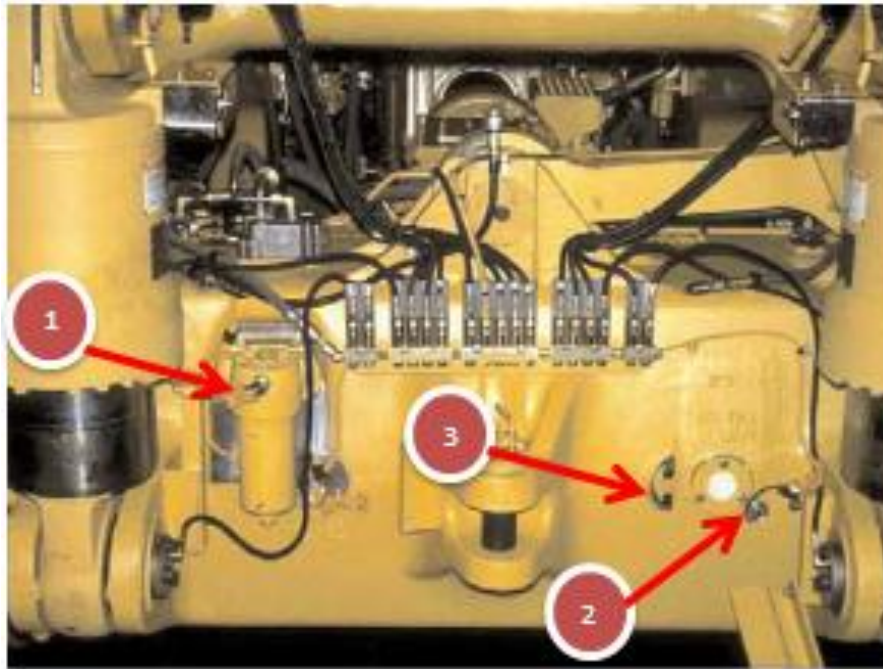
La válvula de control de flujo distribuye el flujo de aceite a los cojinetes del Wheel trasero y a los cojinetes del diferencial.

El aceite fluye de la válvula de control de flujo y temperatura al filtro de aceite diferencial ubicado en la parte trasera de la carcasa de eje trasero. A continuación,

el aceite fluye desde el filtro hasta la válvula de control de temperatura y flujo. Parte del aceite que fluye desde la válvula de control de temperatura y flujo fluye a través de la manguera de suministro pequeña (5) a los cojinetes del diferencial.

El interruptor de derivación del filtro de aceite diferencial (1) en la figura 34 y los dos interruptores de nivel de aceite del eje trasero (2) (uno detrás del filtro diferencial) proporcionan señales de entrada al ECM del freno. El ECM del freno envía señales al VIMS.

Figura 34. Subcomponentes del Diferencial.



Fuente: CATERPILLAR. 785C/789C off-highway trucks meeting guide. Peoria: La Compañía, 1998. 276 p.

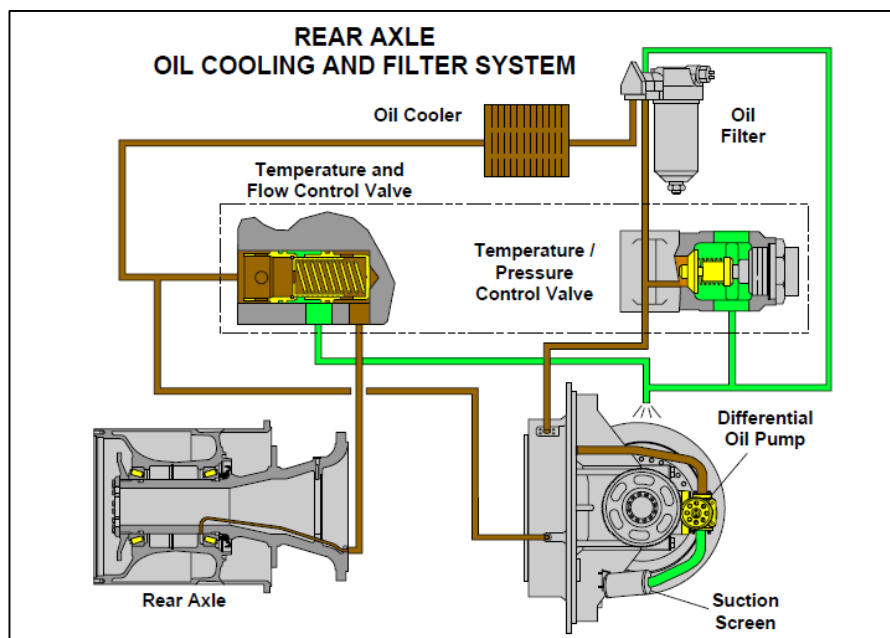
La señal del interruptor de derivación del filtro de aceite diferencial se utiliza para advertir al operador cuando el filtro de aceite diferencial está restringido.

La señal de entrada del interruptor de nivel de aceite del eje trasero se utiliza para avisar al operador cuando el nivel de aceite del eje trasero es bajo.

Un pasador de empuje de carga del diferencial está situado detrás de la cubierta pequeña (3). El pasador de empuje evita el movimiento del soporte del diferencial durante las condiciones de alta carga de empuje.

La Figura 35 muestra el esquemático hidráulico del sistema de enfriamiento y filtrado del eje trasero. La bomba de aceite diferencial empuja el aceite desde la parte baja de la carcasa de eje trasero a través de una rejilla de succión. El aceite fluye de la bomba hacia una válvula de control de flujo y temperatura ubicada en la parte superior de la carcasa del diferencial.

Figura 35. Esquemático Hidráulico del Sistema de Enfriamiento y filtrado del eje trasero.



Fuente: CATERPILLAR. 785C/789C off-highway trucks meeting guide. Peoria: La Compañía, 1998. 276 p.

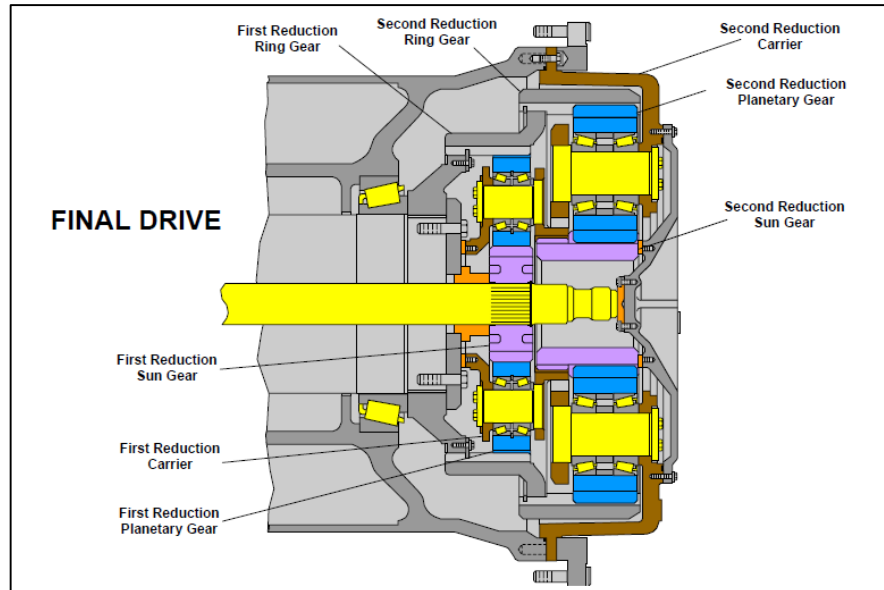
La válvula de control de temperatura y presión, que forma parte de la válvula de control de temperatura y flujo, previene la alta presión de aceite cuando el eje trasero está frío. Cuando la temperatura del aceite es inferior a 43 ° C (110 ° F), la válvula está abierta y permite que el aceite fluya hacia la carcasa del eje trasero. Cuando la temperatura del aceite es superior a 43 ° C (110 ° F), la válvula está cerrada y todo el aceite fluye a través del filtro de aceite diferencial y del enfriador de aceite (si está equipado) a una válvula de control de flujo que también forma parte de la válvula de control de flujo y temperatura.

La válvula de control de temperatura y presión es también el sistema de válvula de alivio principal. Si la presión excede los 690 kPa (100 psi), la válvula de control de temperatura y presión se abrirá para evitar una alta presión de aceite en el filtro de aceite del eje trasero.

La válvula de control de flujo distribuye el flujo de aceite a los cojinetes de la rueda trasera y los cojinetes del diferencial. A altas velocidades, el exceso de flujo de aceite se desvía hacia la carcasa del eje para evitar el sobrellenado del rodamiento de la rueda y de los compartimientos del mando final.

1.4.8 Mandos Finales. La figura 36 muestra una vista seccional de los engranajes planetarios de doble reducción del mando final.

Figura 36. Mando Final.



Fuente: CATERPILLAR. 785C/789C off-highway trucks meeting guide. Peoria: La Compañía, 1998. 276 p.

La potencia fluye desde el diferencial a través de los ejes al engranaje solar del primer conjunto planetario de la primera reducción. La corona de la primera reducción planetaria y la segunda reducción planetaria no pueden girar. Como las coronas no pueden girar, el piñón solar de primera reducción hace girar los piñones planetarios de la primera reducción y el planetario de la primera reducción.

El primer porta-planetario está ranurado con el engranaje solar de segunda reducción. El engranaje solar de segunda reducción provoca la rotación de los engranajes planetarios y el porta-planetario de segunda reducción. Puesto que la reducción está conectada al conjunto del Wheel, el conjunto del Wheel también gira.

El conjunto del Wheel gira mucho más lento que el eje pero con mayor fuerza.

2. ANÁLISIS DE VIDA DE COMPONENTES USANDO WEIBULL

El estudio se realiza para la flota de camiones 789C del Proyecto Minero La Jagua y que se encuentran bajo contrato de mantenimiento entre las empresas Prodeco y Relianz Mining Solutions.

2.1 POBLACIÓN DE CAMIONES 789C MINA LA JAGUA

La flota de camiones 789C en el proyecto la Jagua está conformado por treinta y dos equipos los cuales todos se encuentran bajo contrato de mantenimiento entre las empresas empresas Prodeco y Relianz Mining Solutions.

En la Tabla 2 se muestran los seriales de los equipos con su número interno de identificación, la fecha de inicio y horómetro actual.

Tabla 2. Población de equipos 789C - Proyecto La Jagua.

789C				
Cantidad	Número Interno	Serial Number	Fecha de Inicio de Operación	Horómetro al 31Marzo2017
1	DT055	2BW01351	24/04/2008	52599
2	DT056	2BW01352	26/04/2008	52232
3	DT057	2BW01354	26/04/2008	52762
4	DT058	2BW01355	07/05/2008	52559
5	DT059	2BW01356	16/05/2008	52379
6	DT060	2BW01361	13/05/2008	51298
7	DT061	2BW01362	22/05/2008	51809
8	DT063	2BW01473	03/02/2009	49287
9	DT064	2BW01480	05/02/2009	48657
10	DT065	2BW01481	07/02/2009	47432
11	DT066	2BW01482	09/02/2009	46362
12	DT067	2BW01514	07/04/2009	46975
13	DT068	2BW01515	10/04/2009	47078
14	DT069	2BW01537	07/07/2009	45225
15	DT070	2BW01538	22/06/2009	45128
16	DT071	2BW01542	03/07/2009	46298
17	DT081	2BW01574	30/12/2009	43257
18	DT082	2BW01575	28/12/2009	42734
19	DT083	2BW01576	29/12/2009	43203
20	DT084	2BW01577	23/01/2010	42356
21	DT085	2BW01578	12/01/2010	42119
22	DT086	2BW01579	17/01/2010	42643
23	DT087	2BW01580	12/02/2010	42188
24	DT088	2BW01581	27/01/2010	42600
25	DT096	2BW01766	17/12/2010	37465
26	DT097	2BW01767	19/12/2010	37727
27	DT098	2BW01768	22/12/2010	37086
28	DT099	2BW01838	24/02/2011	35474
29	DT100	2BW01839	26/02/2011	36667
30	DT101	2BW01840	16/03/2011	36649
31	DT102	2BW01841	10/03/2011	36138
32	DT103	2BW01837	14/03/2011	35941

2.2 RECOPIACIÓN Y FILTRADO DE LA INFORMACIÓN

En este estudio se analizarán los principales componentes mayores del camión 789C, estos son:

- Motor
- Convertidor de Torque
- Transmisión
- Diferencial
- Mandos Finales.

Estos componentes son los elegidos para estudio debido a que son los de mayor costo en la máquina, por lo que su cambio fuera de los tiempos planeados de remplazo impacta fuertemente el balance general del contrato.

La recolección de la información se realizará con la base de datos del software de mantenimiento AMT el cual es usado por la empresa Relianz. Una vez se obtiene la información se realiza un filtro para remover los datos que no aportan al estudio, como primera medida se removerán datos de falla de componentes por debajo de las 6000 horas debido a que estos componentes se encuentran en su período de garantía. También se procede a remover los datos de los componentes que fallaron como resultado de problemas de operación de la máquina por mal uso o accidentes y la información de los componentes que fallaron por daño resultante de la falla de otros componentes.

La Tabla 3 muestra los datos de los componentes remplazados en la flota desde el inicio del contrato sin filtrar.

Tabla 3. Información de remplazo de componentes mayores 789C PLJ.

INFORMACION HISTÓRICA DE REMPLAZO DE COMPONENTES ANTES DE FILTRAR.						
Componente	Cantidad	Primer Cambio	Último Cambio	Vida Promedio	Proyeccion de Cambio LCC	Diferencia
Motor	77	13/04/2009	16/05/2017	14697	16000	1303
XMSN	73	01/05/2010	22/05/2017	15349	15000	-349
Diferencial	61	03/04/2010	16/05/2017	16812	16000	-812
Mando Final	192	16/11/2008	09/05/2017	12385	15000	2615

La Tabla 4 muestra los datos filtrados de los componentes remplazados en la flota desde el inicio del contrato.

Tabla 4. Información filtrada de remplazo de componentes mayores 789C PLJ.

INFORMACION HISTÓRICA DE REMPLAZO DE COMPONENTES DESPUÉS DE FILTRAR.						
Componente	Cantidad	Primer Cambio	Último Cambio	Vida Promedio	Proyeccion de Cambio LCC	Diferencia
Motor	70	13/04/2009	16/05/2017	15844	15000	-844
XMSN	64	01/05/2010	22/05/2017	17145	15000	-2145
Diferencial	57	18/04/2010	16/05/2017	17906	16000	-1906
Mando Final	155	19/09/2009	09/05/2017	14508	15000	492

La tabla 4 contiene la siguiente información de reemplazo:

- Componentes reemplazados por falla: Los componentes remplazados por falla dejan al equipo down o fuera de uso por fuera del tiempo programado.
- Componentes remplazados por condicion antes de falla: Estos componentes son remplazados por mostrar condiciones anormales de operación antes de falla, estas condiciones son detectadas por los analistas de monitoreo de condiciones, el componente se reemplaza para evitar su falla y así reducir sus costos de reparación.

- Componentes reemplazados por plan: Los componentes que fueron cambiados por cumplir el intervalo actual de cambio dado por el fabricante, estos componentes son reemplazados sin falla.

Una vez teniendo la información filtrada procedemos a realizar el análisis de los datos con el Software Minitab.

2.3 PROCESAMIENTO DE DATOS DE VIDA DE MOTOR

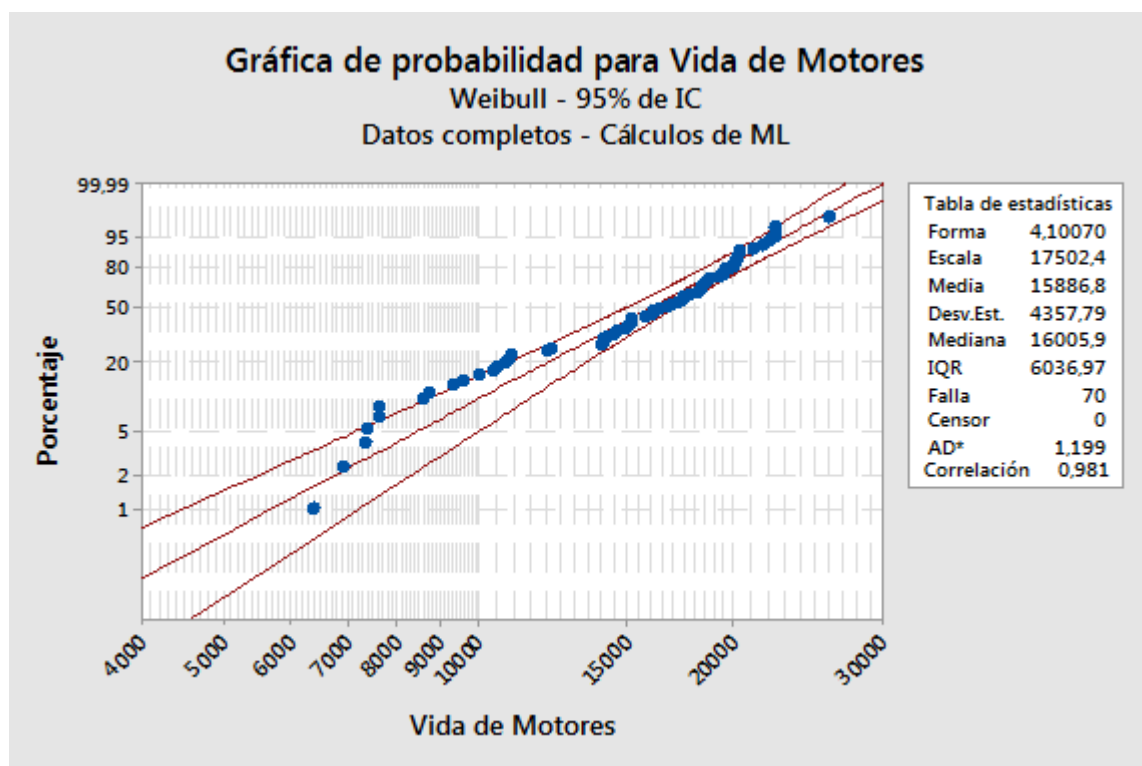
En la tabla 5 se muestra el detalle de la información de remplazo de motores en la flota 789C. Esta información de remplazo detallada en horómetros es introducida en el software Minitab.

Tabla 5. Información filtrada de remplazo de motores en flota 789C PLJ.

Cantidad	Equipo	WO	Componente	Fecha	Horas de Equipo	Horas de Componente
1	DT055	5912767	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	13/04/2009	6386	6386
2	DT056	5921011	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	17/10/2009	9579	9579
3	DT060	5929474	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	19/01/2010	10856	10856
4	DT059	5931276	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	01/03/2010	12079	12079
5	DT057	5937329	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	12/06/2010	14553	14553
6	DT058	5938421	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	14/07/2010	14035	14035
7	DT061	5939425	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	08/08/2010	13980	13980
8	DT060	5959490	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	24/05/2011	18186	7329
9	DT064	5959845	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	25/05/2011	14859	14859
10	DT071	5963606	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	18/07/2011	12722	7631
11	DT066	5965225	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	05/08/2011	14374	14374
12	DT063	5968500	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	15/09/2011	16914	16914
13	DT068	5969051	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	21/09/2011	15147	15147
14	DT059	5972389	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	07/11/2011	21411	9331
15	DT070	5974102	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	26/11/2011	15054	15054
16	DT065	5980972	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	17/02/2012	19468	19468
17	DT057	5981894	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	26/02/2012	23150	8597
18	DT069	5986435	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	13/04/2012	17316	17316
19	DT058	5987715	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	06/05/2012	24411	10376
20	DT061	5989059	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	14/05/2012	23985	10006
21	DT055	5988344	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	30/06/2012	25901	19516
22	DT067	5993733	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	06/07/2012	19986	19986
23	DT081	5995201	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	03/11/2012	16027	16027
24	DT083	59B0415	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	18/12/2012	17164	17164
25	DT060	59B1469	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	26/12/2012	25822	7636
26	DT088	59B4975	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	24/01/2013	16670	16670
27	DT082	59B7726	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	22/02/2013	17697	17697
28	DT085	59B8778	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	03/03/2013	17410	17410
29	DT059	5H12676	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	18/04/2013	28808	7397
30	DT086	59D3380	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	20/04/2013	18648	18648
31	DT064	59D6289	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	18/05/2013	25382	10523
32	DT056	59D8497	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	11/06/2013	29167	18745
33	DT065	5H14408	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	29/06/2013	26380	6912
34	DT087	59E6598	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	17/08/2013	20032	20032
35	DT084	59E7221	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	20/08/2013	20215	20215
36	DT096	59F0554	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	16/09/2013	16050	16050
37	DT098	59F3721	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	12/10/2013	15989	15989
38	DT097	59F8868	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	24/11/2013	17463	17463
39	DT103	59G2514	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	26/12/2013	16362	16362
40	DT100	59G4753	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	30/01/2014	17544	17544
41	DT081	59J0189	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	24/02/2014	24748	8721
42	DT101	59J4351	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	27/03/2014	18279	18279
43	DT099	59J6575	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	13/04/2014	18236	18236
44	DT057	59K9866	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	22/08/2014	37183	14033
45	DT102	59L4068	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	28/09/2014	21126	21126
46	DT085	59N0743	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	17/11/2014	28157	10747
47	DT063	59N1779	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	27/11/2014	35295	18381
48	DT069	59N3275	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	09/12/2014	31491	14175
49	DT071	59N4625	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	25/12/2014	32720	19998
50	DT066	59O5485	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	29/03/2015	34675	20301
51	DT055	59Q1561	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	30/05/2015	42201	10905
52	DT068	59Q9461	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	30/07/2015	37556	22408
53	DT070	59T6031	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	29/09/2015	37438	22384
54	DT058	59T7962	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	15/10/2015	44471	20060
55	DT103	59U3049	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	29/11/2015	28539	12177
56	DT083	59U5867	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	26/12/2015	36423	19259
57	DT067	59U7646	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	11/01/2016	40236	20250
58	DT060	59W0726	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	06/02/2016	45264	19442
59	DT061	59W3728	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	03/03/2016	46029	22044
60	DT086	59W5620	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	17/03/2016	36906	18258
61	DT064	59W9095	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	11/04/2016	43516	18134
62	DT059	59X0520	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	21/04/2016	47277	18469
63	DT097	59X5649	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	03/06/2016	33173	15710
64	DT101	59Y4547	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	14/08/2016	33374	15095
65	DT065	59Z6329	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	30/11/2016	45892	19512
66	DT056	MJ00661	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	08/01/2017	51568	22401
67	DT088	MJ04576	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	17/02/2017	42547	25876
68	DT102	MJ05882	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	28/02/2017	36136	15010
69	DT096	MJ07375	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	14/03/2017	37688	21638
70	DT100	MJ15012	1000.00.CC.00 CAMBIO DE MOTOR	16/05/2017	37757	20213

En la Figura 37 los puntos azules identifican cada remplazo de motor, en el eje y se encuentra el porcentaje de probabilidad de falla para los motores. Según el gráfico, motores con 7.000 horas tiene solo el 5% de probabilidad de falla, mientras que los motores con 21.000 horas tienen el 90% de probabilidad de falla.

Figura 37. Gráfico de Probabilidad de Weibull para Motores 789C. Abril 2009- Mayo 2017.



El Programa también nos entrega en el gráfico de arriba la siguiente información:

- Parámetro de forma (β): Para este caso es 4,1. Este valor nos ubica en la zona de fallas por desgaste de la curva de la bañera indicando que los datos se encuentran en la zona de desgaste o envejecimiento.

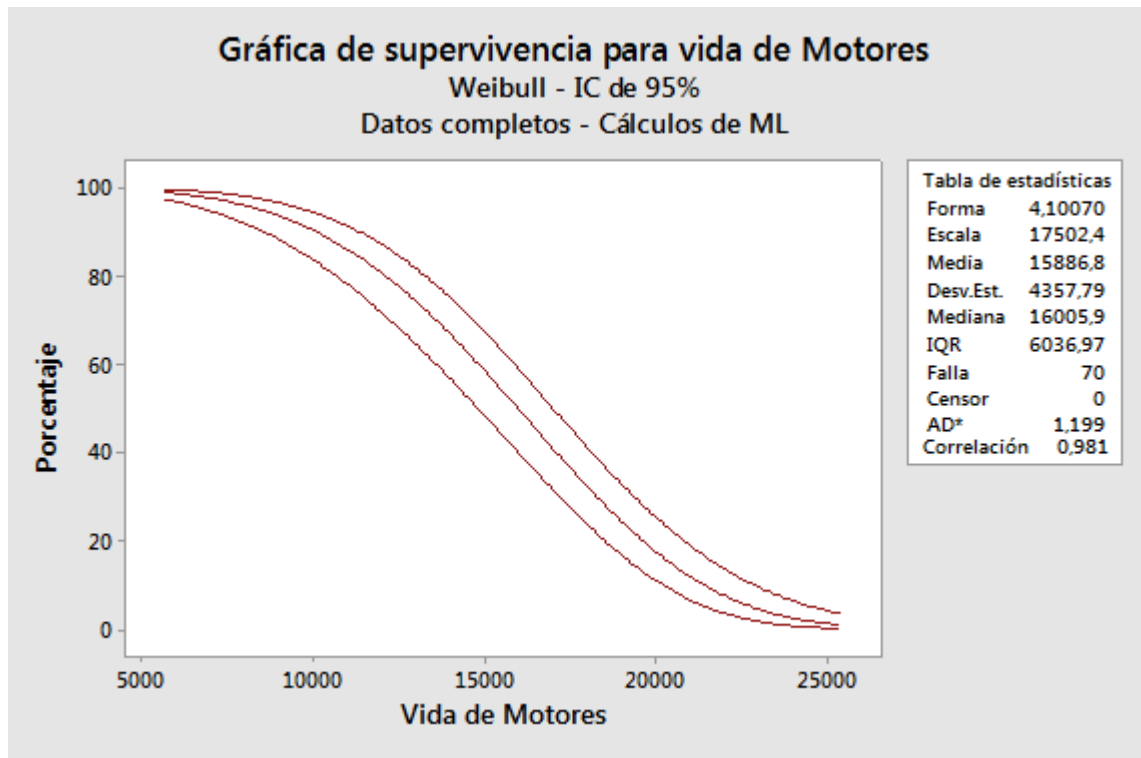
- **Parámetro de escala o característica de vida útil (η):** Para este caso es igual a 17502,4 Horas. El parámetro η es de gran importancia debido a que indica el valor de vida útil de los motores 789C en PLJ.

Este valor es mayor al actual el cual es entregado por el fabricante y establecido por planeación. Como este valor se encuentra por encima del indicado por el fabricante no ha afectado el balance financiero del proyecto, sin embargo, esta información puede ser utilizada en futuros contratos para extender el intervalo de cambio de los motores de manera segura sin arriesgar los componentes y junto con el seguimiento disciplinado en el monitoreo de condiciones se puede lograr reducir los costos de los contratos lo que daría a la compañía ventaja competitiva frente a sus competidores.

- **Media y Mediana:** Estos valores no se utilizan en este ejercicio.
- **Desviación Estándar y Rango Intercuartil (IQR):** Son valores estadísticos para determinar dispersión de datos. Para este ejercicio no se tienen en cuenta debido a que los datos ya han sido filtrados con anterioridad.
- **Correlación de Pearson:** En este caso la correlación es de 0.981. Este valor debe estar entre 0.95 y 1 para indicar que los datos están correctamente alineados para Weibull, por lo que la prueba de bondad de ajuste se cumple.

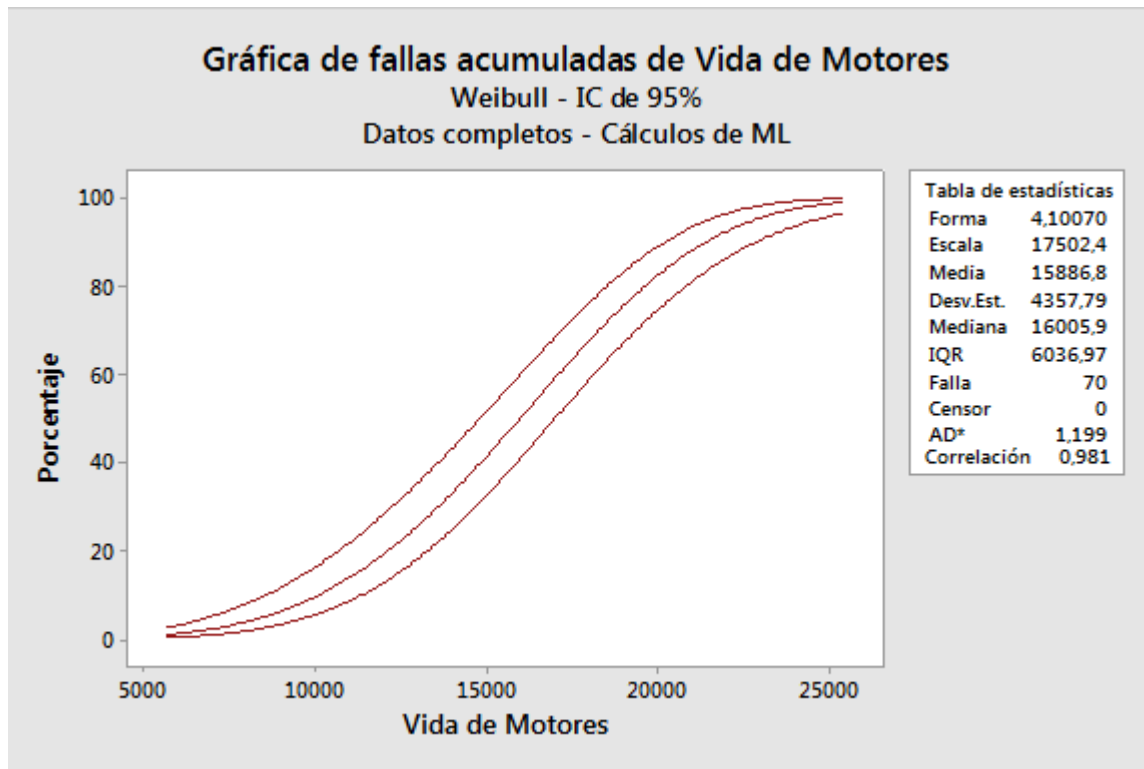
En la figura 38 se grafica la probabilidad de supervivencia o confiabilidad en función del tiempo en horas acumuladas de los motores 789C de la mina La Jagua. En este gráfico podemos observar que para motores con 6000 Horas de operación, la confiabilidad se encuentra en 98%. Cuando los componentes alcanzan las 15.000 Horas de operación, la confiabilidad se ve reducida al 55%, los motores con 17500 horas tienen un porcentaje de supervivencia del 38%, los motores con 20.000 horas de operación tienen un porcentaje de supervivencia del 13%.

Figura 38. Gráfico de Supervivencia o confiabilidad para Motores 789C PLJ. Abril 2009-Mayo 2017.



La Figura 39 muestra la tasa de falla de los motores en función de las horas acumuladas. Cuando el motor acumula horas de servicio, la tasa de falla se incrementa. Este gráfico es característico al de la fase III de la curva de la bañera donde los componentes fallan por desgaste o envejecimiento y es igual al parámetro β de $4.1 > 1$.

Figura 39. Gráfico de fallas acumuladas para Motores 789C PLJ. Abril 2009-Mayo 2017.



2.4 PROCESAMIENTO DE DATOS DE VIDA DE TRANSMISIÓN

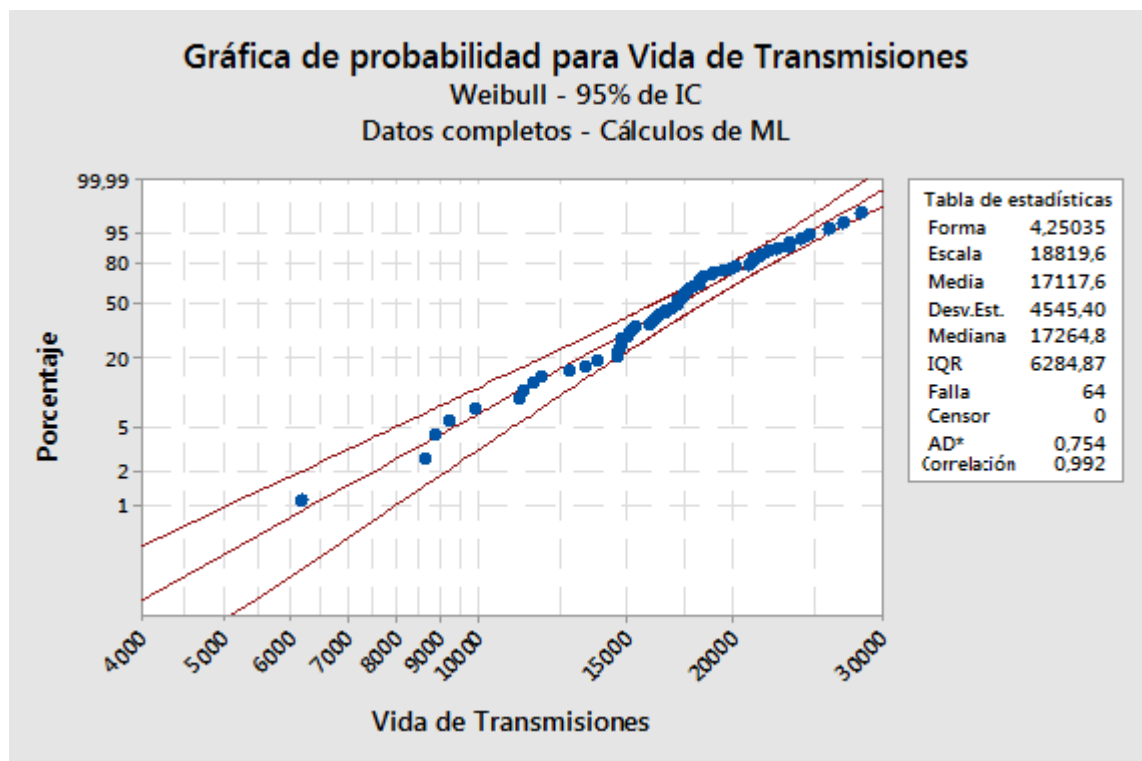
En la tabla 6 se muestra el detalle de la información de remplazo de Transmisiones en la flota 789C. Esta información de remplazo detallada en horómetros es introducida en el software Minitab.

Tabla 6. Información filtrada de remplazo de transmisiones en flota 789C PLJ.

Cantidad	Equipo	WO	Componente	Fecha	Horas Equipo	Horas Componente
1	DT070	5935171	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	01/05/2010	6169	6169
2	DT057	5937368	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	12/06/2010	14553	14553
3	DT058	5H03419	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	13/09/2010	14711	14711
4	DT061	5942896	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	07/10/2010	14549	14549
5	DT056	5943161	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	10/10/2010	15170	15170
6	DT055	5948375	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	21/12/2010	16609	16609
7	DT060	5959787	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	24/05/2011	18186	18186
8	DT063	5968811	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	15/09/2011	16914	16914
9	DT059	5972412	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	07/11/2011	21411	21411
10	DT064	5978848	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	24/01/2012	18841	18841
11	DT067	5980226	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	07/02/2012	17573	17573
12	DT065	5980973	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	17/02/2012	19468	19468
13	DT068	5981830	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	26/02/2012	17751	17751
14	DT056	5985913	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	01/04/2012	24066	8896
15	DT069	5977606	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	13/04/2012	17316	17316
16	DT081	5987698	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	26/04/2012	14675	14675
17	DT082	5989017	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	30/05/2012	14742	14742
18	DT071	5991351	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	12/06/2012	18346	18346
19	DT066	59B0063	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	13/12/2012	20860	20860
20	DT083	59B0417	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	18/12/2012	17164	17164
21	DT085	59B8776	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	03/03/2013	17410	17410
22	DT055	59D0743	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	24/03/2013	28598	11583
23	DT057	59D8039	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	06/06/2013	29309	14756
24	DT060	59E3478	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	21/07/2013	29336	11151
25	DT087	59E6597	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	17/08/2013	20032	20032
26	DT098	59F3722	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	12/10/2013	15989	15989
27	DT086	59F6042	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	01/11/2013	21969	21969
28	DT084	59F7307	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	13/11/2013	21532	21532
29	DT097	59F8867	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	24/11/2013	17463	17463
30	DT101	59G6385	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	25/01/2014	17117	17117
31	DT100	59G4752	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	30/01/2014	17544	17544
32	DT056	59J2563	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	14/03/2014	34000	9934
33	DT061	59J4916	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	01/04/2014	33984	16356
34	DT099	59J6580	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	13/04/2014	18236	18236
35	DT058	59K1706	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	23/05/2014	35743	21032
36	DT070	59K2142	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	26/05/2014	29229	17183
37	DT088	59K4888	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	18/06/2014	25861	25861
38	DT102	59L4069	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	28/09/2014	21126	21126
39	DT064	59L5095	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	04/10/2014	34099	15258
40	DT063	59N1781	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	27/11/2014	35295	18381
41	DT059	59N4957	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	02/01/2015	39333	17922
42	DT103	59N6648	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	18/01/2015	23180	23180
43	DT065	59O3079	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	10/03/2015	35394	15926
44	DT085	59O4243	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	15/03/2015	30196	12786
45	DT066	59O5535	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	29/03/2015	34675	13815
46	DT069	59O6513	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	08/04/2015	33531	16215
47	DT071	59O9785	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	03/05/2015	34937	16591
48	DT096	59Q1448	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	24/05/2015	26843	26843
49	DT067	59Q2862	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	02/06/2015	36494	18921
50	DT081	59Q5702	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	17/06/2015	32921	18247
51	DT100	59Q8128	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	14/07/2015	26792	9248
52	DT061	59T1992	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	16/08/2015	42648	8664
53	DT087	59U8163	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	17/01/2016	35283	13336
54	DT083	59W0291	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	03/02/2016	36969	19805
55	DT086	59W6089	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	17/03/2016	36906	14937
56	DT082	59W5993	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	20/03/2016	37235	22493
57	DT070	59W7844	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	31/03/2016	40545	11316
58	DT099	59Z1106	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	15/10/2016	33324	15088
59	DT103	MJ00552	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	12/01/2017	35060	11880
60	DT088	MJ00905	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	16/01/2017	42012	16150
61	DT055	MJ05432	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	19/02/2017	52600	24002
62	DT068	MJ10928	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	12/04/2017	47704	28226
63	DT057	MJ14614	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	12/05/2017	53914	24605
64	DT060	MJ15643	3030.00.CC.00 CAMBIO DE TRANSMISION	22/05/2017	52583	23247

En la figura 40 los puntos azules identifican cada remplazo de transmisión, en el eje Y se encuentra el porcentaje de probabilidad de falla para las Transmisiones. Según el gráfico, transmisiones con 10.000 horas tiene solo el 5% de probabilidad de falla, mientras que las Transmisiones con 20.000 horas tienen el 80% de probabilidad de falla.

Figura 400. Gráfico de Probabilidad de Weibull para Transmisiones 789C. Mayo 2010-Mayo 2017.



El Programa también nos entrega en el gráfico de arriba la siguiente información:

- **Parámetro de forma (β):** Para este caso es 4,2. Este valor nos ubica en la zona de fallas por desgaste de la curva de la bañera indicando que los datos se encuentran en la zona de desgaste o envejecimiento.

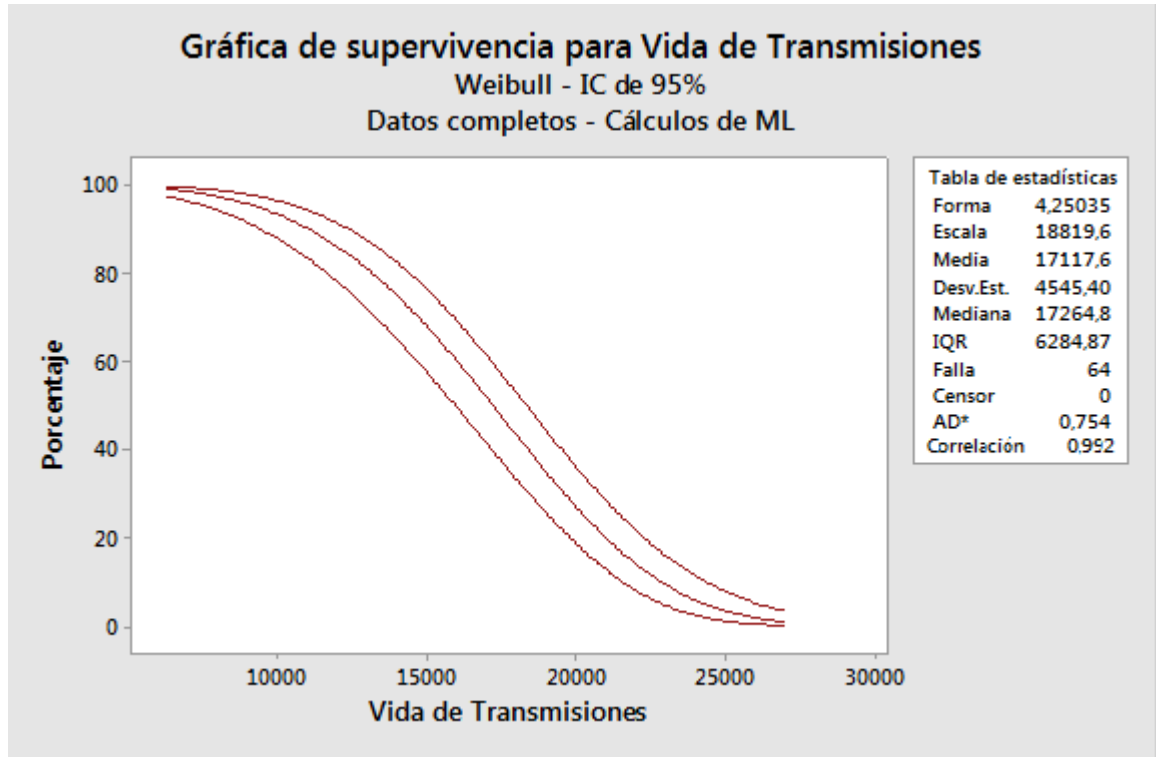
- **Parámetro de escala o característica de vida útil (η):** Para este caso es igual a 18819,6 Horas. El parámetro η es de gran importancia debido a que indica el valor de vida útil de las Transmisiones 789C en PLJ.

Este valor es mayor al actual el cual es entregado por el fabricante y establecido por planeación. Como este valor se encuentra por encima del indicado por el fabricante no ha afectado el balance financiero del proyecto, sin embargo, esta información puede ser utilizada en futuros contratos para extender el intervalo de cambio de las Transmisiones de manera segura sin arriesgar los componentes y junto con el seguimiento disciplinado en el monitoreo de condiciones se puede lograr reducir los costos de los contratos lo que daría a la compañía ventaja competitiva frente a sus competidores.

- **Media y Mediana:** Estos valores no se utilizan en este ejercicio.
- **Desviación Estándar y Rango Intercuartil (IQR):** Son valores estadísticos para determinar dispersión de datos. Para este ejercicio no se tienen en cuenta debido a que los datos ya han sido filtrados con anterioridad.
- **Correlación de Pearson:** En este caso la correlación es de 0.992. Este valor debe estar entre 0.95 y 1 para indicar que los datos están correctamente alineados para Weibull, por lo que la prueba de bondad de ajuste se cumple.

En la figura 41 se grafica la probabilidad de supervivencia o confiabilidad en función de las horas acumuladas de las Transmisiones 789C de la mina La Jagua. En este gráfico podemos observar que para Transmisiones con 6000 Horas de operación, la confiabilidad se encuentra en 98%. Cuando las Transmisiones alcanzan las 15.000 Horas de operación, la confiabilidad se ve reducida al 70%, las Transmisiones con 18000 horas tienen un porcentaje de supervivencia del 45%, las Transmisiones con 20.000 horas de operación tienen un porcentaje de supervivencia del 25%.

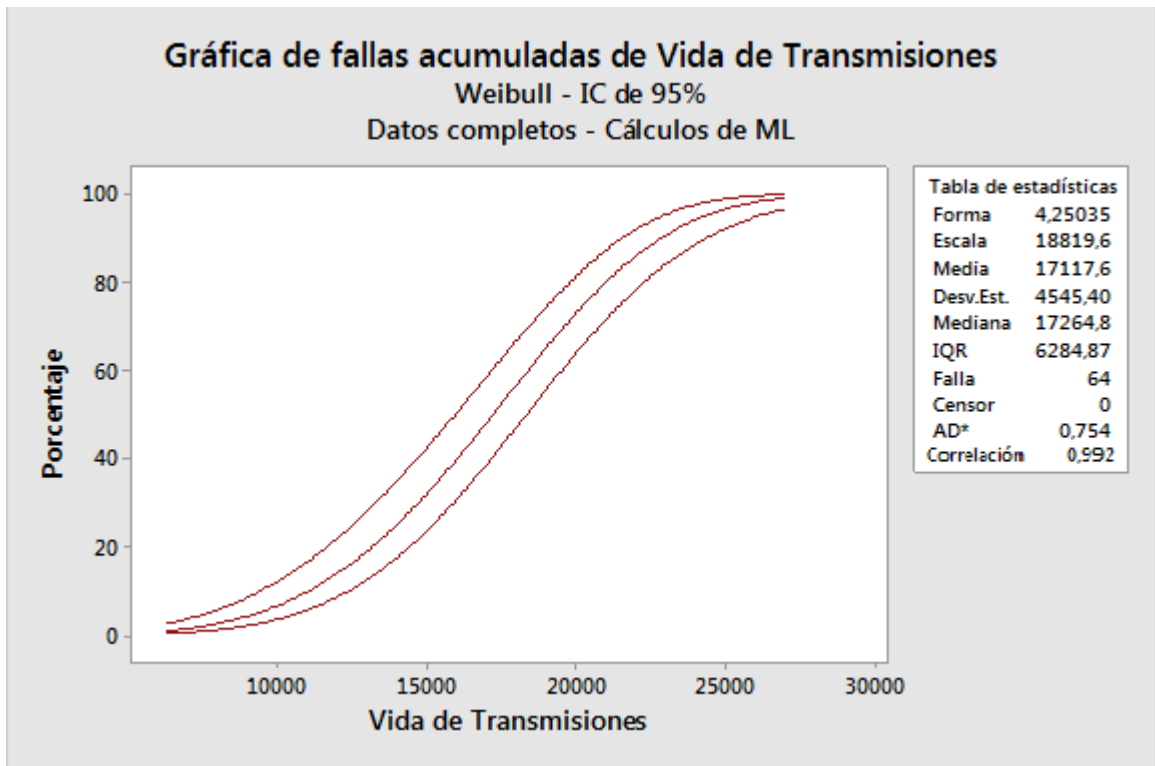
Figura 411. Gráfico de Supervivencia o confiabilidad para Transmisiones 789C PLJ.



La Figura 42 muestra la tasa de falla de las Transmisiones en función de las horas acumuladas. Cuando la Transmisión acumula horas de servicio, la tasa de falla se incrementa.

Este gráfico es característico al de la fase III de la curva de la bañera donde los componentes fallan por desgaste o envejecimiento y es igual al parámetro β de $4.2 > 1$.

Figura 422. Gráfico de fallas acumuladas para Transmisiones 789C PLJ. Mayo 2010-Mayo 2017.



2.5 PROCESAMIENTO DE DATOS DE VIDA DEL DIFERENCIAL

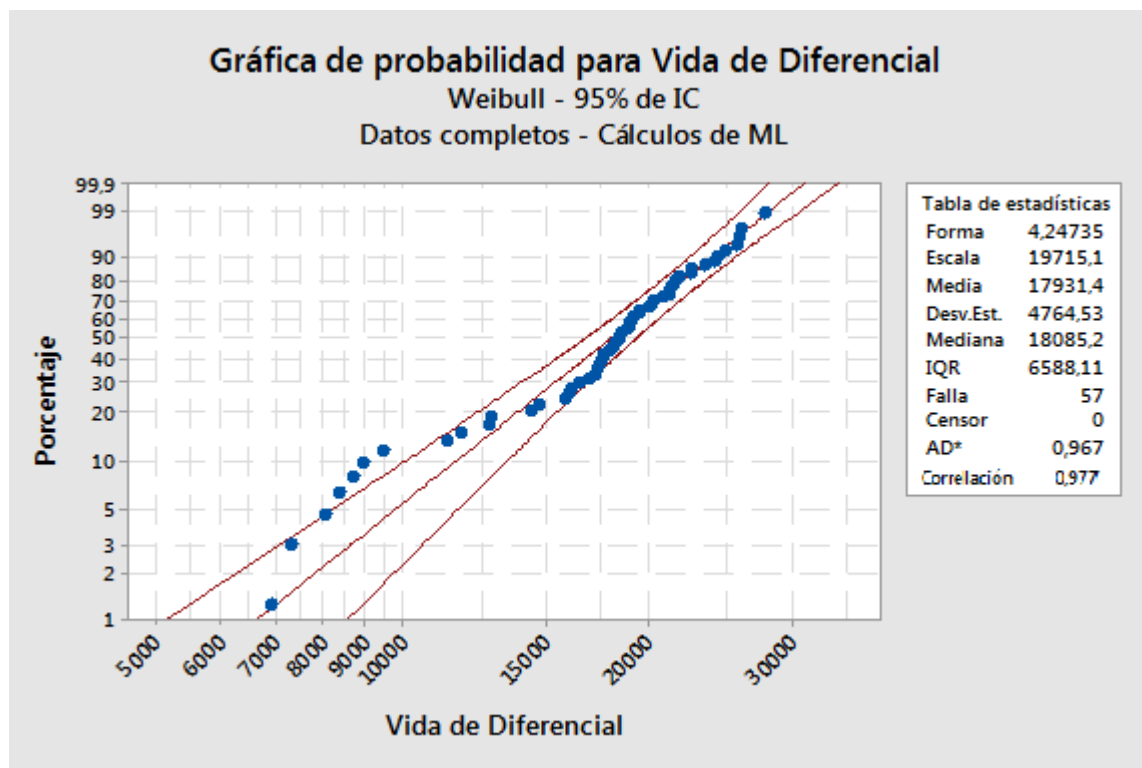
En la tabla 7 se muestra el detalle de la información de remplazo de los Diferenciales en la flota 789C. Esta información de remplazo detallada en horómetros es introducida en el software Minitab.

Tabla 7. Información filtrada de remplazo de Diferenciales en flota 789C PLJ.

Cantidad	Equipo	WO	Componente	Fecha	Horas Equipo	Horas Componente
1	DT055	5939772	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	14/08/2010 17:19	14718	14718
2	DT060	5952038	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	11/02/2011 03:39	16463	16463
3	DT063	5968810	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	15/09/2011 22:41	16914	16914
4	DT057	5967087	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	21/09/2011 10:37	21342	21342
5	DT059	5972414	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	07/11/2011 20:48	21411	21411
6	DT058	5973639	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	23/11/2011 03:42	21786	21786
7	DT067	5980161	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	07/02/2012 04:51	17573	17573
8	DT065	5980975	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	17/02/2012 08:51	19468	19468
9	DT064	5982889	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	06/03/2012 15:01	19511	19511
10	DT061	5985033	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	29/03/2012 09:49	23407	23407
11	DT056	5985912	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	01/04/2012 06:00	24066	24066
12	DT069	5977699	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	13/04/2012 00:36	17316	17316
13	DT068	5984988	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	18/04/2012 16:18	18521	18521
14	DT071	5991348	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	12/06/2012 08:42	18346	18346
15	DT084	5991887	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	12/06/2012 16:25	14396	14396
16	DT066	59B0068	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	13/12/2012 09:09	20860	20860
17	DT083	59B0418	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	18/12/2012 14:00	17164	17164
18	DT085	59B8777	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	03/03/2013 06:14	17410	17410
19	DT070	59D4459	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	07/05/2013 10:50	22496	22496
20	DT065	59F1856	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	29/06/2013 03:01	26380	6912
21	DT060	59E3656	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	21/07/2013 09:27	29336	12873
22	DT057	59E4671	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	02/08/2013 03:29	30330	8988
23	DT087	59E6600	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	17/08/2013 04:02	20032	20032
24	DT098	59F3725	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	12/10/2013 08:00	15989	15989
25	DT081	59F6087	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	30/10/2013 17:23	22551	22551
26	DT061	59F4297	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	06/11/2013 03:42	31461	8054
27	DT097	59F8870	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	24/11/2013 13:47	17463	17463
28	DT055	59G4340	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	04/01/2014 18:33	33504	18786
29	DT056	59G4021	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	08/01/2014 12:58	32800	8734
30	DT096	59G6197	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	22/01/2014 23:22	18135	18135
31	DT100	59G7004	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	30/01/2014 10:53	17544	17544
32	DT082	59J5127	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	31/03/2014 03:20	24723	24723
33	DT099	59J6581	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	13/04/2014 12:59	18236	18236
34	DT088	59K4889	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	18/06/2014 19:06	25861	25861
35	DT102	59L4070	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	28/09/2014 01:34	21126	21126
36	DT103	59L4879	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	30/09/2014 11:45	21479	21479
37	DT063	59N1782	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	27/11/2014 07:09	35295	18381
38	DT059	59N4958	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	02/01/2015 21:21	39333	17922
39	DT064	59N5595	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	05/01/2015 08:29	35591	16080
40	DT081	59O0787	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	18/02/2015 23:18	30917	8366
41	DT058	59O3343	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	11/03/2015 01:59	40790	19004
42	DT085	59O4244	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	15/03/2015 21:20	30196	12786
43	DT086	59O7790	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	17/04/2015 01:38	31075	27734
44	DT101	59Q1680	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	20/05/2015 08:37	25728	25728
45	DT067	59Q2861	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	02/06/2015 19:50	36494	18921
46	DT087	59Q4574	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	12/06/2015 14:00	31815	11783
47	DT096	59Q7207	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	05/07/2015 03:35	27610	9475
48	DT066	59Q8229	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	19/07/2015 07:25	36691	15831
49	DT084	59T3232	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	28/08/2015 15:10	33347	18951
50	DT071	59U2917	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	27/11/2015 02:59	38453	20107
51	DT068	59X6224	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	07/06/2016 17:04	42714	24194
52	DT087	59Y5441	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	21/08/2016 22:34	39142	7327
53	DT063	59Y9035	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	21/09/2016 07:19	46628	11333
54	DT060	MJ00787	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	14/01/2017 19:08	50489	21153
55	DT083	MJ02946	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	31/01/2017 13:00	42783	25619
56	DT055	MJ05431	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	19/02/2017 21:00	52600	19096
57	DT100	MJ15136	3258.00.CC.00 CAMBIO DE DIFERENCIAL	16/05/2017 11:22	37757	20213

En la figura 43 los puntos azules identifican cada remplazo de Diferencial, en el eje Y se encuentra el porcentaje de probabilidad de falla para los Diferenciales. Según el gráfico, Diferenciales con 10.000 horas tiene solo el 5% de probabilidad de falla, mientras que las Diferenciales con 25.000 horas tiene el 90% de probabilidad de falla.

Figura 433. Gráfico de Probabilidad de Weibull para Diferenciales 789C. Agosto 2010-Mayo 2017.



El Programa también nos entrega en el gráfico de arriba la siguiente información:

- **Parámetro de forma (β):** Para este caso es 4,2. Este valor nos ubica en la zona de fallas por desgaste de la curva de la bañera indicando que los datos se encuentran en la zona de desgaste o envejecimiento.

- **Parámetro de escala o característica de vida útil (η):** Para este caso es igual a 19715,1 Horas. El parámetro η es de gran importancia debido a que indica el valor de vida útil de las Transmisiones 789C en PLJ.

Este valor es mayor al actual el cual es entregado por el fabricante y establecido por planeación. Como este valor se encuentra por encima del indicado por el fabricante no ha afectado el balance financiero del proyecto, sin embargo, esta información puede ser utilizada en futuros contratos para extender el intervalo de cambio de los Diferenciales de manera segura sin arriesgar los componentes y junto con el seguimiento disciplinado en el monitoreo de condiciones se puede lograr reducir los costos de los contratos lo que daría a la compañía ventaja competitiva frente a sus competidores.

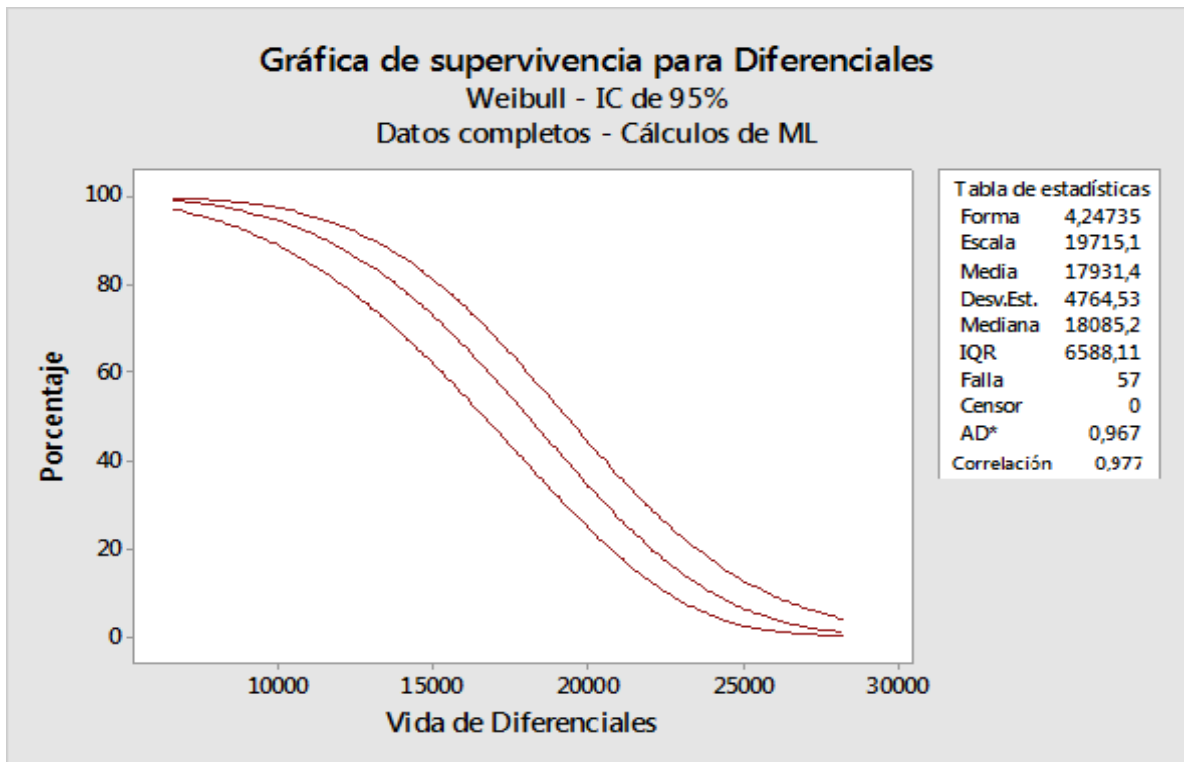
- **Media y Mediana:** Estos valores no se utilizan en este ejercicio.
- **Desviación Estándar y Rango Intercuartil (IQR):** Son valores estadísticos para determinar dispersión de datos. Para este ejercicio no se tienen en cuenta debido a que los datos ya han sido filtrados con anterioridad.
- **Correlación de Pearson:** En este caso la correlación es de 0.977. Este valor debe estar entre 0.95 y 1 para indicar que los datos están correctamente alineados para Weibull, por lo que la prueba de bondad de ajuste se cumple.

En la figura 44 se grafica la probabilidad de supervivencia o confiabilidad en función de las horas acumuladas de los Diferenciales 789C de la mina La Jagua. En este gráfico podemos observar que para Diferenciales con 6000 Horas de operación, la confiabilidad se encuentra en 98%.

Cuando los Diferenciales alcanzan las 15.000 Horas de operación, la confiabilidad se ve reducida al 75%, los Diferenciales con 18000 horas tienen un porcentaje de

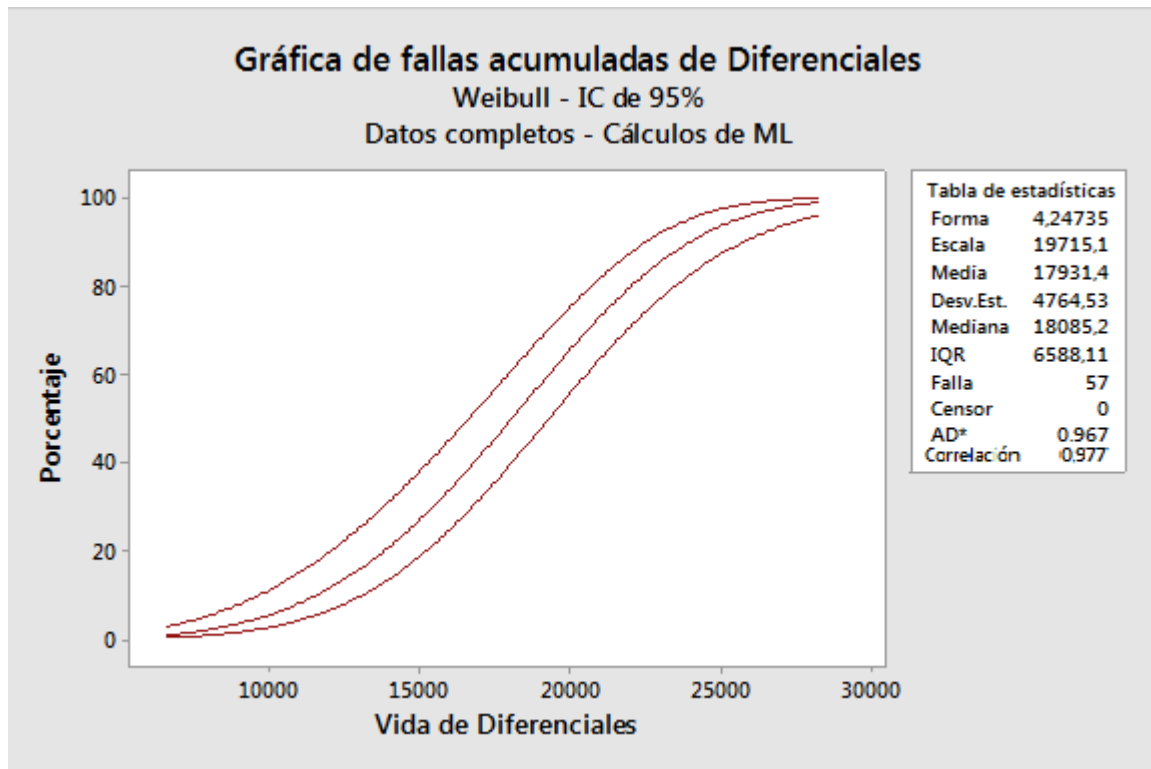
supervivencia del 55%, los Diferenciales con 20.000 horas de operación tienen un porcentaje de supervivencia del 35%.

Figura 444- Gráfico de Supervivencia o confiabilidad para los Diferenciales 789C PLJ. Agosto 2010-Mayo 2017.



La figura 45 muestra la tasa de falla de los Diferenciales en función de las horas acumuladas. Cuando el Diferencial acumula horas de servicio, la tasa de falla se incrementa. Este gráfico es característico al de la fase III de la curva de la bañera donde los componentes fallan por desgaste o envejecimiento y es igual al parámetro β de $4.2 > 1$.

Figura 455. Gráfico de fallas acumuladas para Diferenciales 789C PLJ. Agosto 2010 Mayo 2017.



2.6 PROCESAMIENTO DE DATOS DE VIDA DE LOS MANDOS FINALES

En la tabla 8 se muestra el detalle de la información de remplazo de los Mandos Finales en la flota 789C. Esta información de remplazo detallada en horómetros es introducida en el software Minitab.

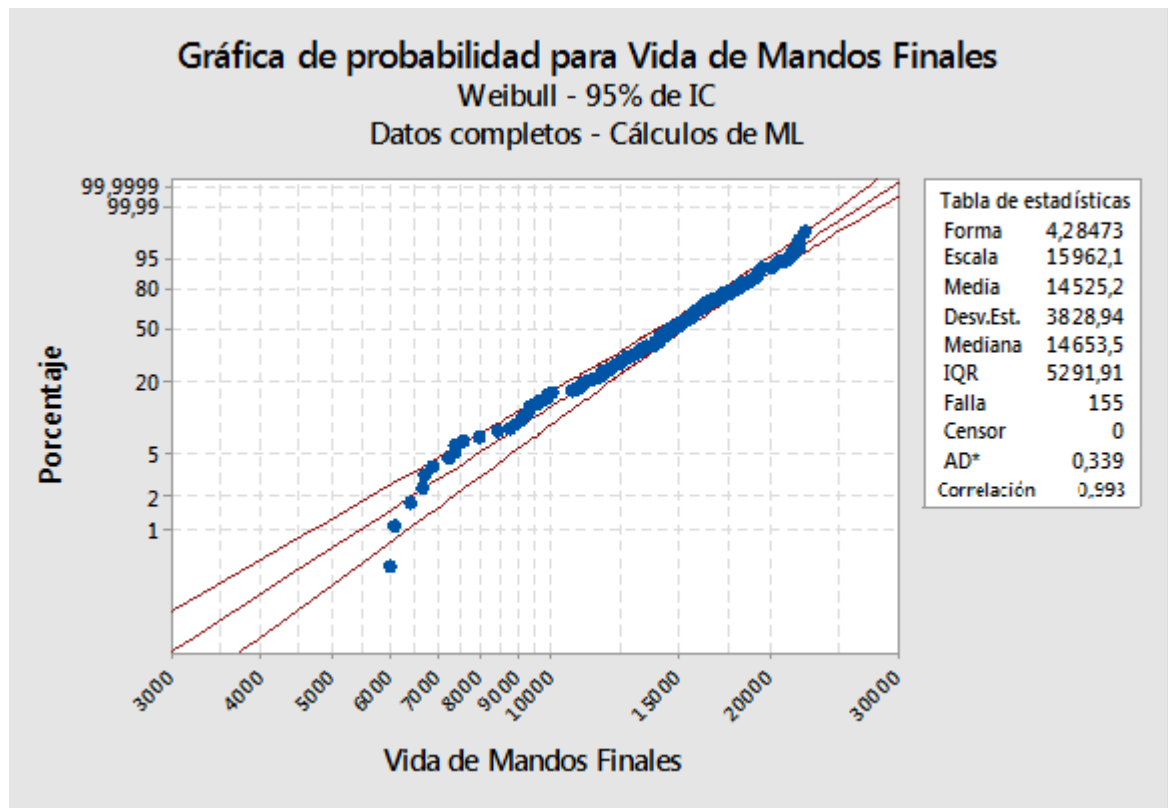
Tabla 8. Información filtrada de remplazo de Mandos Finales en flota 789C PLJ.

Cantidad	Equipo	WO	Componente	Fecha	Horas Equipo	Horas Componente
1	DT057	5921787	4051.LH.CC.00 CAMBIO DE MANDO FINAL LH	19/09/2009 15:40	9606	9606
2	DT055	5928896	4051.LH.CC.00 CAMBIO DE MANDO FINAL LH	23/01/2010 11:16	11546	11546
3	DT061	5930182	4051.RH.CC.00 CAMBIO DE MANDO FINAL RH	30/01/2010 17:26	11318	11318
4	DT056	5930550	4051.RH.CC.00 CAMBIO DE MANDO FINAL RH	15/03/2010 20:06	12211	12211
5	DT057	5933523	4051.RH.CC.00 CAMBIO DE MANDO FINAL RH	01/04/2010 06:43	13259	13259
6	DT058	5932916	4051.RH.CC.00 CAMBIO DE MANDO FINAL RH	13/05/2010 04:35	13212	13212
7	DT055	5937731	4051.RH.CC.00 CAMBIO DE MANDO FINAL RH	27/06/2010 15:47	14246	14246
8	DT060	5937437	4051.RH.CC.00 CAMBIO DE MANDO FINAL RH	03/08/2010 03:54	13784	13784
9	DT056	5940050	4051.LH.CC.00 CAMBIO DE MANDO FINAL LH	19/08/2010 10:15	14398	14398
10	DT066	5942274	4051.RH.CC.00 CAMBIO DE MANDO FINAL RH	22/09/2010 08:02	9296	9296
11	DT066	5942370	4051.LH.CC.00 CAMBIO DE MANDO FINAL LH	28/09/2010 19:26	9303	9303
12	DT059	5951671	4051.RH.CC.00 CAMBIO DE MANDO FINAL RH	06/02/2011 14:41	17127	17127
13	DT060	5952022	4051.LH.CC.00 CAMBIO DE MANDO FINAL LH	11/02/2011 03:39	16463	16463
14	DT058	5952278	4051.LH.CC.00 CAMBIO DE MANDO FINAL LH	15/02/2011 01:40	17177	17177
15	DT065	5962780	4051.LH.CC.00 CAMBIO DE MANDO FINAL LH	05/07/2011 14:46	15675	15675
16	DT065	5962781	4051.RH.CC.00 CAMBIO DE MANDO FINAL RH	05/07/2011 14:46	15675	15675
17	DT064	5963041	4051.RH.CC.00 CAMBIO DE MANDO FINAL RH	10/07/2011 20:58	15486	15486
18	DT064	5963042	4051.LH.CC.00 CAMBIO DE MANDO FINAL LH	10/07/2011 20:58	15486	15486
19	DT068	5964871	4051.RH.CC.00 CAMBIO DE MANDO FINAL RH	03/08/2011 15:40	14541	14541
20	DT055	5968141	4051.LH.CC.00 CAMBIO DE MANDO FINAL LH	12/09/2011 22:08	20920	9373
21	DT063	5968668	4051.LH.CC.00 CAMBIO DE MANDO FINAL LH	15/09/2011 22:41	16914	16914
22	DT063	5968669	4051.RH.CC.00 CAMBIO DE MANDO FINAL RH	15/09/2011 22:41	16914	16914
23	DT068	5969594	4051.LH.CC.00 CAMBIO DE MANDO FINAL LH	30/09/2011 09:04	15216	15216
24	DT059	5969658	4051.LH.CC.00 CAMBIO DE MANDO FINAL LH	01/10/2011 08:23	21005	21005
25	DT067	5971649	4051.LH.CC.00 CAMBIO DE MANDO FINAL LH	26/10/2011 07:31	15880	15880
26	DT067	5980227	4051.RH.CC.00 CAMBIO DE MANDO FINAL RH	07/02/2012 04:51	17573	17573
27	DT070	5982134	4051.RH.CC.00 CAMBIO DE MANDO FINAL RH	28/02/2012 19:45	16655	16655
28	DT070	5982234	4051.LH.CC.00 CAMBIO DE MANDO FINAL LH	28/02/2012 19:45	16655	16655
29	DT086	5984188	4051.RH.CC.00 CAMBIO DE MANDO FINAL RH	18/03/2012 05:07	13362	10020
30	DT061	5985034	4051.LH.CC.00 CAMBIO DE MANDO FINAL LH	29/03/2012 09:49	23407	20266
31	DT061	5985035	4051.RH.CC.00 CAMBIO DE MANDO FINAL RH	29/03/2012 09:49	23407	12088
32	DT057	5986061	4051.LH.CC.00 CAMBIO DE MANDO FINAL LH	08/04/2012 03:33	23804	14198
33	DT081	5987729	4051.RH.CC.00 CAMBIO DE MANDO FINAL RH	26/04/2012 22:28	14675	14675
34	DT066	5989761	4051.LH.CC.00 CAMBIO DE MANDO FINAL LH	22/05/2012 11:00	19119	9816
35	DT071	5991340	4051.LH.CC.00 CAMBIO DE MANDO FINAL LH	12/06/2012 08:42	18346	18346
36	DT071	5991346	4051.RH.CC.00 CAMBIO DE MANDO FINAL RH	12/06/2012 08:42	18346	18346
37	DT084	5991661	4051.RH.CC.00 CAMBIO DE MANDO FINAL RH	12/06/2012 16:25	14396	14396
38	DT084	5994867	4051.LH.CC.00 CAMBIO DE MANDO FINAL LH	27/10/2012 23:48	15003	15003
39	DT083	5980420	4051.RH.CC.00 CAMBIO DE MANDO FINAL RH	18/12/2012 14:00	17164	17164
40	DT083	5980421	4051.LH.CC.00 CAMBIO DE MANDO FINAL LH	18/12/2012 14:00	17164	17164
41	DT065	5981063	4051.RH.CC.00 CAMBIO DE MANDO FINAL RH	21/12/2012 10:16	23033	7358
42	DT060	5981156	4051.RH.CC.00 CAMBIO DE MANDO FINAL RH	22/12/2012 09:00	25786	12002
43	DT056	5981182	4051.LH.CC.00 CAMBIO DE MANDO FINAL LH	22/12/2012 16:24	26134	11736
44	DT063	5987598	4051.RH.CC.00 CAMBIO DE MANDO FINAL RH	16/02/2013 17:26	24129	7214
45	DT057	5988855	4051.RH.CC.00 CAMBIO DE MANDO FINAL RH	03/03/2013 17:04	27708	14449

En la figura 46 los puntos azules identifican cada remplazo de Mando Final, en el eje Y se encuentra el porcentaje de probabilidad de falla para los Mandos Finales.

Según el gráfico, Mando Final con 6.500 horas tiene solo el 7% de probabilidad de falla, mientras que las Mandos Finales con 22.000 horas tienen el 96% de probabilidad de falla.

Figura 466. Gráfico de Probabilidad de Weibull para Los Mandos Finales 789C. Septiembre 2009 - Mayo 2017.



El Programa también nos entrega en el gráfico de arriba la siguiente información:

- **Parámetro de forma (β):** Para este caso es 4,2. Este valor nos ubica en la zona de fallas por desgaste de la curva de la bañera indicando que los datos se encuentran en la zona de desgaste o envejecimiento.

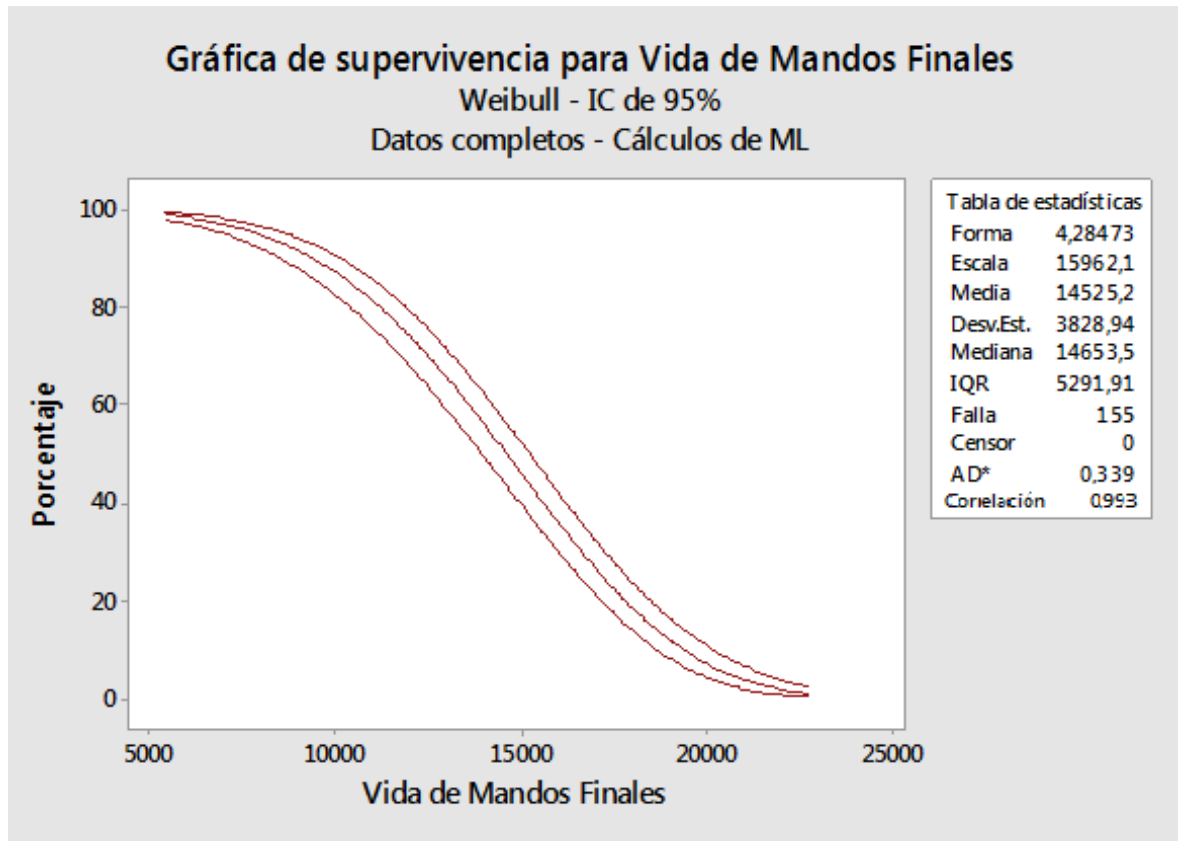
- **Parámetro de escala o característica de vida útil (η):** Para este caso es igual a 15962,1 Horas. El parámetro η es de gran importancia debido a que indica el valor de vida útil de los Mandos Finales 789C en PLJ.

Este valor es menor al actual en una mínima cantidad el cual es entregado por el fabricante y establecido por planeación. Como este valor se encuentra muy poco por debajo del indicado por el fabricante podemos decir que no ha afectado el balance financiero del proyecto, esta información puede ser utilizada en futuros contratos para mantener el intervalo de cambio de los Mandos Finales y junto con el seguimiento disciplinado en el monitoreo de condiciones se puede lograr reducir los costos de los contratos lo que daría a la compañía ventaja competitiva frente a sus competidores.

- **Media y Mediana:** Estos valores no se utilizan en este ejercicio.
- **Desviación Estándar y Rango Intercuartil (IQR):** Son valores estadísticos para determinar dispersión de datos. Para este ejercicio no se tienen en cuenta debido a que los datos ya han sido filtrados con anterioridad.
- **Correlación de Pearson:** En este caso la correlación es de 0.993. Este valor debe estar entre 0.95 y 1 para indicar que los datos están correctamente alineados para Weibull, por lo que la prueba de bondad de ajuste se cumple.

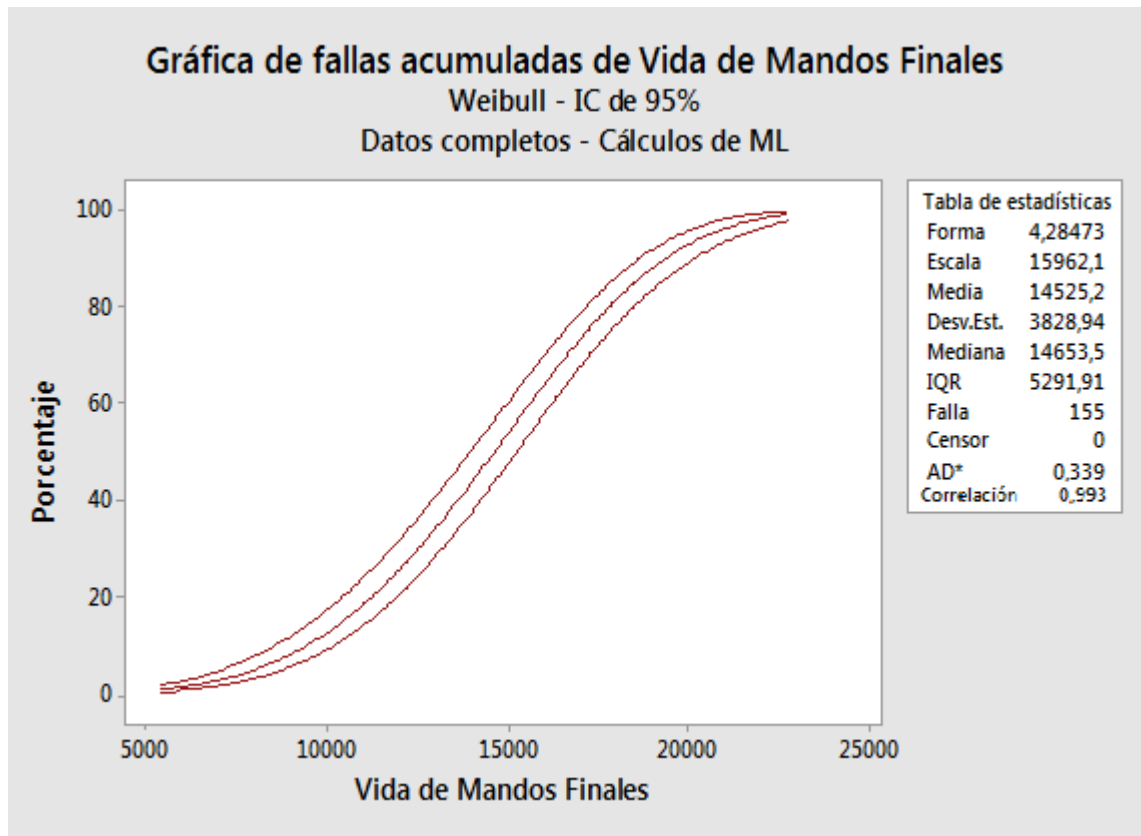
En la figura 47 se grafica la probabilidad de supervivencia o confiabilidad en función de las horas acumuladas de los Mandos Finales 789C de la mina La Jagua. En este gráfico podemos observar que para Mandos Finales con 6000 Horas de operación, la confiabilidad se encuentra en 98%. Cuando los Mandos Finales alcanzan las 15.000 Horas de operación, la confiabilidad se ve reducida al 55%, los mandos finales con 20.000 horas de operación tienen un porcentaje de supervivencia del 15%.

Figura 4747. Gráfico de Supervivencia o confiabilidad para los Mandos Finales 789C PLJ. Septiembre 2009 - Mayo 2017.



La figura 48 muestra la tasa de falla de los Mandos Finales en función de las horas acumuladas. Cuando el Mando Final acumula horas de servicio, la tasa de falla se incrementa. Este gráfico es característico al de la fase III de la curva de la bañera donde los componentes fallan por desgaste o envejecimiento y es igual al parámetro β de $4.2 > 1$.

Figura 48. Gráfico de fallas acumuladas para Mandos Finales 789C PLJ. Sept 2009-Mayo 2017.



2.7 RESUMEN DE ANÁLISIS DE DATOS DE VIDA DE COMPONENTES DE CAMIONES 789C MINA LA JAGUA.

La tabla 9 muestra el resumen de los datos obtenidos con Weibull y las recomendaciones para modificar los intervalos de remplazo de los componentes en la planeación futura del proyecto.

Tabla 9. Resultados usando Weibull en los componentes mayores 789C.

Componentes	Proyeccion Actual de Vida Util	Vida Util Usando Weibull	Media Movil Últimos 10 Cambios	Proyección de Vida Util Recomendada.
Motor	16000	17502	18200	17500
Transmisión	15000	18819	17450	17500
Diferencial	16000	19715	17700	18000
Mandos Finales	15000	15962	14500	15000

2.8 SIMULACIÓN Y COMPARACIÓN

Para realizar una simulación con los nuevos valores de frecuencia de cambio obtenidos con la distribución Weibull, se procede a obtener de la base de datos AMT las horas actuales de los equipos y las de sus componentes mayores a la fecha 31 de Marzo 2017. Con esta información se realiza una proyección de los cambios faltantes por cada componente hasta el final del contrato usando los intervalos de remplazo dados por el fabricante y con los nuevos intervalos de remplazo obtenidos por Weibull.

En la tabla 10 se muestra los resultados de la comparación que se realizó y en las siguientes se muestra los detalles de la simulación para cada componente.

Tabla 10. Resumen simulación cambio de frecuencia de reemplazos componentes 789D.

Componente	Proyección Actual de Vida Util	Componentes Necesarios Hasta Fin de Contrato	Proyección Vida Util Recomendada	Componentes Necesarios hasta Final de Contrato	Balance
Motor	16000	35	17502	28	Menos 7
Transmision	15000	35	18819	28	Menos 7
Diferencial	16000	35	19715	25	Menos 10
Mando Final	15000	72	15962	66	Menos 6

Para el caso de los motores, el estudio dio como resultado una proyección de vida útil recomendada de 17.502 horas, por encima de la recomendada por el fabricante y que actualmente está siendo usada en el Proyecto. Con este intervalo de vida útil recomendado, se reduce los remplazos necesarios proyectados hasta el final del contrato de 35 motores a 28 lo que significaría un ahorro significativo en el contrato actual. Para este caso es importante mencionar que al incrementar el intervalo de vida útil al recomendado, también se debe centrar esfuerzos al monitoreo de condiciones y al análisis de las muestras de aceite que ayuden a mantener la confiabilidad de los equipos y no ponga en riesgo los componentes.

Para el caso de las Transmisiones, el resultado del estudio fue igual al de los Motores, un incremento del intervalo de vida útil de 15.000 a 18.819 horas de servicio y una reducción en la proyección de los componentes a remplazar de 35 a 28 componentes hasta el final del contrato.

Para los casos de los diferenciales, hubo una mayor variación en el intervalo de vida útil la cual pasó de 16.000 horas de servicio recomendada por el fabricante a 19.715 horas de servicio determinado por Weibull, la proyección de remplazo de diferenciales hasta el final de contrato se redujo en 10 componentes lo incrementaría aún más los ahorros. En el caso de los mandos finales es muy similar, el resultado del estudio dio un incremento en el intervalo de vida útil de 15.000 a 15.962 horas de servicio, aunque solo se incrementó 962 horas más de la recomendada por el fabricante, la proyección del cambio de los componentes hasta el final del contrato se redujo en seis componentes lo que da un ahorro significativo en el contrato.

En las tablas 11 a 15 se muestra la simulación y comparación de remplazos de motores futuros hasta fin de contrato para cada componente.

Tabla 11. Simulación y comparación de remplazos de Motor futuros hasta fin de contrato.

CANTIDAD	EQUIPO	HOROMETR O ACTUAL EQUIPO	HOROMETRO ACTUAL COMPONENTE	VIDA ACTUAL	VIDA RECOMENDADA	HORAS PARA FINAL CONTRATO DEL EQUIPO	COMPONENTES PARA SALIDA DE CONTRATO ACTUAL	HORAS COMPONENTE SALIDA DE CONTRATO	COMPONENTES PARA SALIDA DE CONTRATO RECOMENDADO	HORAS COMPONENTE SALIDA CONTRATO
1	DT055	52599	11.844	16000	17502	7401	1	3.245	1	1.743
2	DT056	52232	2.364	16000	17502	7768	0	7.768	0	10.132
3	DT057	52762	15.850	16000	17502	7238	1	7.088	1	5.586
4	DT058	52559	9.830	16000	17502	7441	1	1.271	0	17.271
5	DT059	52379	6.854	16000	17502	7621	0	7.621	0	14.475
6	DT060	51298	7.787	16000	17502	8702	1	489	0	16.489
7	DT061	51809	7.435	16000	17502	8191	0	8.191	0	15.626
8	DT063	49287	15.625	16000	17502	10713	1	10.338	1	8.836
9	DT064	48657	6.888	16000	17502	11343	1	2.231	1	729
10	DT065	47432	3.126	16000	17502	12568	0	12.568	0	15.694
11	DT066	46362	13.258	16000	17502	13638	1	10.896	1	9.394
12	DT067	46975	8.446	16000	17502	13025	1	5.471	1	3.969
13	DT068	47078	11.171	16000	17502	12922	1	8.093	1	6.591
14	DT069	45225	15.311	16000t	17502	14775	1	14.086	1	12.584
15	DT070	45128	9.432	16000	17502	14872	1	8.304	1	6.802
16	DT071	46298	13.050	16000	17502	13702	1	10.752	1	9.250
17	DT081	43257	15.400	16000	17502	16743	2	143	1	14.641
18	DT082	42734	135	16000	17502	17266	1	1.401	0	17.401
19	DT083	43203	8.464	16000	17502	16797	1	9.261	1	7.759
20	DT084	42356	15.632	16000	17502	17644	2	1.276	1	15.774
21	DT085	42119	13.048	16000	17502	17881	1	14.929	1	13.427
22	DT086	42643	7.337	16000	17502	17357	1	8.694	1	7.192
23	DT087	42188	15.478	16000	17502	17812	2	1.290	1	15.788
24	DT088	42600	1.738	16000	17502	17400	1	3.138	1	1.636
25	DT096	37465	2.730	16000	17502	22535	1	9.265	1	7.763
26	DT097	37727	13.154	16000	17502	22273	2	3.427	2	423
27	DT098	37086	15.498	16000	17502	22914	2	6.412	2	3.408
28	DT099	35474	12.611	16000	17502	24526	2	5.137	2	2.133
29	DT100	36667	389	16000	17502	23333	1	7.722	1	6.220
30	DT101	36649	5.004	16000	17502	23351	1	12.355	1	10.853
31	DT102	36138	1.603	16000	17502	23862	1	9.465	1	7.963
32	DT103	35941	9.050	16000	17502	24059	2	1.109	1	15.607
TOTAL							35	28	28	

Tabla 12. Simulación y comparación de reemplazos de Transmisión futuros hasta fin de contrato.

CANTIDAD	EQUIPO	HOROMETRO ACTUAL EQUIPO	HOROMETRO ACTUAL COMPONENTE	VIDA ACTUAL	VIDA RECOMENDADA	HORAS PARA FINAL CONTRATO DEL EQUIPO	COMPONENTES PARA SALIDA DE CONTRATO ACTUAL	HORAS COMPONENTE SALIDA DE CONTRATO	COMPONENTES PARA SALIDA DE CONTRATO RECOMENDADO	HORAS COMPONENTE SALIDA CONTRATO
1	DT055	52599	1445	15000	18819	7401	0	17374	0	9973
2	DT056	52232	14978	15000	18819	7768	1	7746	1	3927
3	DT057	52762	571	15000	18819	7238	0	18248	0	7809
4	DT058	52559	14658	15000	18819	7441	1	7099	1	3280
5	DT059	52379	14798	15000	18819	7621	1	7419	1	3600
6	DT060	51298	469	15000	18819	8702	0	18350	0	9648
7	DT061	51809	10816	15000	18819	8191	1	4007	1	188
8	DT063	49287	14250	15000	18819	10713	1	9963	1	6144
9	DT064	48657	14632	15000	18819	11343	1	10975	1	7156
10	DT065	47432	231	15000	18819	12568	0	18588	0	6020
11	DT066	46362	13258	15000	18819	13638	1	11896	1	8077
12	DT067	46975	12188	15000	18819	13025	1	10213	1	6394
13	DT068	47078	1023	15000	18819	12922	0	17796	0	4874
14	DT069	45225	13271	15000	18819	14775	1	13046	1	9227
15	DT070	45128	3441	15000	18819	14872	1	15378	0	14872
16	DT071	46298	13050	15000	18819	13702	1	11752	1	7933
17	DT081	43257	11941	15000	18819	16743	1	13684	1	9865
18	DT082	42734	6982	15000	18819	17266	1	9248	1	5429
19	DT083	43203	7918	15000	18819	16797	1	9715	1	5896
20	DT084	42356	14789	15000	18819	17644	2	17433	1	13614
21	DT085	42119	13647	15000	18819	17881	2	16528	1	12709
22	DT086	42643	7337	15000	18819	17357	1	9694	1	5875
23	DT087	42188	8509	15000	18819	17812	1	11321	1	7502
24	DT088	42600	2273	15000	18819	17400	1	4673	1	854
25	DT096	37465	12188	15000	18819	22535	2	4723	1	15904
26	DT097	37727	14562	15000	18819	22273	2	6835	1	18016
27	DT098	37086	14265	15000	18819	22914	2	7179	1	18360
28	DT099	35474	3898	15000	18819	24526	1	13424	1	9605
29	DT100	36667	11354	15000	18819	23333	2	4687	1	15868
30	DT101	36649	14527	15000	18819	23351	2	7878	2	240
31	DT102	36138	14687	15000	18819	23862	2	8549	2	911
32	DT103	35941	2664	15000	18819	24059	1	11723	1	7904
TOTAL							35		28	

Tabla 13. Simulación y comparación de remplazos de Diferencial futuros hasta fin de contrato.

CANTIDAD	EQUIPO	HOROMETRO ACTUAL EQUIPO	HOROMETRO ACTUAL COMPONENTE	VIDA ACTUAL	VIDA RECOMENDADA	HORAS PARA FINAL CONTRATO DEL EQUIPO	COMPONENTES PARA SALIDA DE CONTRATO ACTUAL	HORAS COMPONENTE SALIDA DE CONTRATO	COMPONENTES PARA SALIDA DE CONTRATO RECOMENDADO	HORAS COMPONENTE SALIDA CONTRATO
1	DT055	52599	1.445	16000	19715	7401	0	8846	0	8846
2	DT056	52232	15.489	16000	19715	7768	1	7257	1	3542
3	DT057	52762	14.879	16000	19715	7238	1	6117	1	2402
4	DT058	52559	13.511	16000	19715	7441	1	4952	1	1237
5	DT059	52379	14.798	16000	19715	7621	1	6419	1	2704
6	DT060	51298	2.562	16000	19715	8702	0	11264	0	11264
7	DT061	51809	14.695	16000	19715	8191	1	6886	1	3171
8	DT063	49287	4.292	16000	19715	10713	0	15005	0	15005
9	DT064	48657	14.813	16000	19715	11343	1	10156	1	6441
10	DT065	47432	14.785	16000	19715	12568	1	11353	1	7638
11	DT066	46362	11.242	16000	19715	13638	1	8880	1	5165
12	DT067	46975	1.425	16000	19715	13025	0	14450	0	14450
13	DT068	47078	6.114	16000	19715	12922	1	3036	0	13601
14	DT069	45225	51	16000	19715	14775	0	14826	0	14826
15	DT070	45128	14.635	16000	19715	14872	1	13507	1	9792
16	DT071	46298	9.534	16000	19715	13702	1	7236	1	3521
17	DT081	43257	13.945	16000	19715	16743	1	14688	1	10973
18	DT082	42734	135	16000	19715	17266	1	1401	0	19580
19	DT083	43203	2.104	16000	19715	16797	1	2901	0	17611
20	DT084	42356	10.640	16000	19715	17644	1	12284	1	8569
21	DT085	42119	13.647	16000	19715	17881	1	15528	1	11813
22	DT086	42643	13.168	16000	19715	17357	1	14525	1	10810
23	DT087	42188	4.650	16000	19715	17812	1	6462	1	2747
24	DT088	42600	14.753	16000	19715	17400	2	153	1	12438
25	DT096	37465	11.422	16000	19715	22535	2	1957	1	14242
26	DT097	37727	14.654	16000	19715	22273	2	4927	1	17212
27	DT098	37086	14.321	16000	19715	22914	2	5235	1	17520
28	DT099	35474	14.123	16000	19715	24526	2	6649	1	18934
29	DT100	36667	389	16000	19715	23333	1	7722	1	4007
30	DT101	36649	12.650	16000	19715	23351	2	4001	1	16286
31	DT102	36138	14.951	16000	19715	23862	2	6813	1	19098
32	DT103	35941	15.963	16000	19715	24059	2	8022	2	592
TOTAL							35	25	25	

Tabla 14. Simulación y comparación de reemplazos de Mando Final Izquierdos futuros hasta fin de contrato

CANTIDAD	EQUIPO	HOROMETRO EQUIPO	HOROMETRO ACTUAL COMPONENTE	VIDA ACTUAL	VIDA RECOMENDADA	HORAS PARA FINAL CONTRATO DEL EQUIPO	COMPONENTES PARA SALIDA DE CONTRATO ACTUAL	HORAS COMPONENTE SALIDA DE CONTRATO	COMPONENTES PARA SALIDA DE CONTRATO RECOMENDADO	HORAS COMPONENTE SALIDA CONTRATO
1	DT055	52599	1.445	15000	15962	7401	0	8.846	0	8.846
2	DT056	52232	14.896	15000	15962	7768	1	7.664	1	6.702
3	DT057	52762	14.236	15000	15962	7238	1	6.474	1	5.512
4	DT058	52559	9.794	15000	15962	7441	1	2.235	1	1.273
5	DT059	52379	7.571	15000	15962	7621	1	192	0	15.192
6	DT060	51298	10.136	15000	15962	8702	1	3.838	1	2.876
7	DT061	51809	13.791	15000	15962	8191	1	6.982	1	6.020
8	DT063	49287	7.026	15000	15962	10713	1	2.739	1	1.777
9	DT064	48657	10.826	15000	15962	11343	1	7.169	1	6.207
10	DT065	47432	14.789	15000	15962	12568	1	12.357	1	11.395
11	DT066	46362	11.242	15000	15962	13638	1	9.880	1	8.918
12	DT067	46975	9.209	15000	15962	13025	1	7.234	1	6.272
13	DT068	47078	14.523	15000	15962	12922	1	12.445	1	11.483
14	DT069	45225	12.289	15000	15962	14775	1	12.064	1	11.102
15	DT070	45128	14.654	15000	15962	14872	1	14.526	1	13.564
16	DT071	46298	12.316	15000	15962	13702	1	11.018	1	10.056
17	DT081	43257	5.961	15000	15962	16743	1	7.704	1	6.742
18	DT082	42734	8.850	15000	15962	17266	1	11.116	1	10.154
19	DT083	43203	14.987	15000	15962	16797	2	1.784	1	15.822
20	DT084	42356	11.179	15000	15962	17644	1	13.823	1	12.861
21	DT085	42119	9.061	15000	15962	17881	1	11.942	1	10.980
22	DT086	42643	1.030	15000	15962	17357	1	3.387	1	2.425
23	DT087	42188	9.278	15000	15962	17812	1	12.090	1	11.128
24	DT088	42600	12.150	15000	15962	17400	1	14.550	1	13.588
25	DT096	37465	5.909	15000	15962	22535	1	13.444	1	12.482
26	DT097	37727	6.823	15000	15962	22273	1	14.096	1	13.134
27	DT098	37086	7.588	15000	15962	22914	2	502	1	14.540
28	DT099	35474	10.477	15000	15962	24526	2	5.003	2	3.079
29	DT100	36667	9.644	15000	15962	23333	2	2.977	2	1.053
30	DT101	36649	9.041	15000	15962	23351	2	2.392	2	468
31	DT102	36138	9.930	15000	15962	23862	2	3.792	2	1.868
32	DT103	35941	14.951	15000	15962	24059	2	9.010	2	7.086
TOTAL COMPONENTES							38		35	

Tabla 15. Simulación y comparación de reemplazos de Mando Final Derecho futuros hasta fin de contrato.

CANTIDAD	EQUIPO	HOROMETRO EQUIPO	HOROMETRO ACTUAL COMPONENTE	VIDA ACTUAL	VIDA RECOMENDADA	HORAS PARA FINAL CONTRATO DEL EQUIPO	COMPONENTES PARA SALIDA DE CONTRATO ACTUAL	HORAS COMPONENTE SALIDA DE CONTRATO	COMPONENTES PARA SALIDA DE CONTRATO RECOMENDADO	HORAS COMPONENTE SALIDA CONTRATO
1	DT055	52599	1.890	15000	15962	7401	0	9.291	0	9.291
2	DT056	52232	13.449	15000	15962	7768	1	6.217	1	5.255
3	DT057	52762	7.404	15000	15962	7238	0	14.642	0	14.642
4	DT058	52559	14.895	15000	15962	7441	1	7.336	1	6.374
5	DT059	52379	13.930	15000	15962	7621	1	6.551	1	5.589
6	DT060	51298	4.874	15000	15962	8702	0	13.576	0	13.576
7	DT061	51809	6.797	15000	15962	8191	0	14.988	0	14.988
8	DT063	49287	6.331	15000	15962	10713	1	2.044	1	1.082
9	DT064	48657	14.813	15000	15962	11343	1	11.156	1	10.194
10	DT065	47432	1.367	15000	15962	12568	0	13.935	0	13.935
11	DT066	46362	11.242	15000	15962	13638	1	9.880	1	8.918
12	DT067	46975	611	15000	15962	13025	0	13.636	0	13.636
13	DT068	47078	2.453	15000	15962	12922	1	375	0	15.375
14	DT069	45225	9.684	15000	15962	14775	1	9.459	1	8.497
15	DT070	45128	14.369	15000	15962	14872	1	14.241	1	13.279
16	DT071	46298	14.321	15000	15962	13702	1	13.023	1	12.061
17	DT081	43257	10	15000	15962	16743	1	1.753	1	791
18	DT082	42734	2.656	15000	15962	17266	1	4.922	1	3.960
19	DT083	43203	14.384	15000	15962	16797	2	1.181	1	15.219
20	DT084	42356	14.987	15000	15962	17644	2	2.631	2	707
21	DT085	42119	6.295	15000	15962	17881	1	9.176	1	8.214
22	DT086	42643	10.567	15000	15962	17357	1	12.924	1	11.962
23	DT087	42188	11.977	15000	15962	17812	1	14.789	1	13.827
24	DT088	42600	11.762	15000	15962	17400	1	14.162	1	13.200
25	DT096	37465	4.336	15000	15962	22535	1	11.871	1	10.909
26	DT097	37727	6.823	15000	15962	22273	1	14.096	1	13.134
27	DT098	37086	7.361	15000	15962	22914	2	275	1	14.313
28	DT099	35474	14.369	15000	15962	24526	2	8.895	2	6.971
29	DT100	36667	14.263	15000	15962	23333	2	7.596	2	5.672
30	DT101	36649	13.835	15000	15962	23351	2	7.186	2	5.262
31	DT102	36138	14.147	15000	15962	23862	2	8.009	2	6.085
32	DT103	35941	14.741	15000	15962	24059	2	8.800	2	6.876
TOTAL COMPONENTES							34		31	

3. CONCLUSIONES

El uso de la distribución de Probabilidad de Weibull permite definir ciclos de vida reales de los componentes o de equipos con la información histórica de remplazo de los mismos.

Con el desarrollo de esta monografía se logró definir el intervalo óptimo de reemplazo de los componentes mayores para la flota 789C con el uso del Software Minitab logrando cumplir con el objetivo general y los objetivos específicos planteados para el desarrollo de esta investigación. Los resultados de este estudio pueden ser base para estructurar, proyectar y negociar futuros contratos de mantenimiento asegurando el balance económico positivo de los contratos. Igualmente, esta información puede ser útil para aplicar en la proyección de los componentes que actualmente se encuentran instalados en los equipos y para realizar un ajuste en la proyección de los componentes a remplazar en lo que queda del contrato lo que daría un beneficio económico para la compañía como se pudo demostrar en los resultados anteriores, sin embargo, se debe tener cuidado al momento de tomar estas decisiones que estos resultados se logran siempre y cuando el mantenimiento de estos componentes se realice con un disciplinado monitoreo de condiciones a los mismos.

Esta información también puede ser utilizada para replicar en las otras flotas de equipos de la operación de la mina la Jagua o de cualquier otra operación minera para obtener información valiosa que puede ayudar a incrementar aún más los beneficios, esto siempre y cuando se tenga la información histórica de cambio de componentes y se tenga documentado el modo de falla de cada uno de los componentes.

El desarrollo de este proyecto con el software Minitab se realizó con la versión de prueba. En caso de querer replicar la información a otras flotas o proyectos mineros se debe adquirir la licencia del software la cual fue incluida en el presupuesto de este proyecto.

Con la información de los resultados obtenidos anteriormente se puede profundizar aún más y revisar los resultados de los análisis de fallas que se han realizado y así determinar cuáles son los subcomponentes que más han fallado y cuáles han sido sus modos de fallas para tomar acciones frente a estos casos para lograr incrementar la vida de los mismos.

BIBLIOGRAFÍA

ABERNETHY, Robert. The New Weibull Handbook, Fifth Edition. Florida: El Autor, 2006. ISBN 0-9653062-3-2.

CATERPILLAR. 785C/789C off-highway trucks meeting guide. Peoria: La Compañía, 1998. 276 p.

_____. Información Industrial. [En línea]. [Consultado el: 18 de marzo de 2017]. Disponible en: [http:// sis.cat.com](http://sis.cat.com)

GONZÁLEZ JAIMES, Isnardo. Memorias de clase de Seminario I: Profundización Bibliográfica. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicomecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Bogotá, 2014.

JARAMILLO IBARRA, Julián. Memorias de clase de Mantenimiento Predictivo: Filosofía, Gestión Tecnológica y Teoría de la Predicción. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicomecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Bogotá, 2014.

MINITAB INC. Minitab [paquete de software estadístico]. Última versión: 18. Requerimientos del sistema: Windows 10, 8.1, 8, 7 (incluidas ambas versiones, 32-bits y 64-bits, pero no ediciones RT para tabletas). Disponible para compra y prueba en: <https://www.minitab.com/es-mx/products/minitab/>.

MORA, Luis. Mantenimiento. Planeación, ejecución y control. Primera Edición. México: Alfaomega Editores, 2009. 528 p. ISBN: 978-958-682-769-0.

MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM II. Edición en Español. Asheville: Alandon LLC, 2004.

QUIROGA PALACIOS, Andrés. Establecimiento de la vida óptima de componentes de la flota de tractores D10T de la mina Calenturitas usando Weibull. [En línea]. Monografía Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento, 2014. 97 p. [Consultado el: 10 de enero de 2017]. Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2014/151967.pdf>